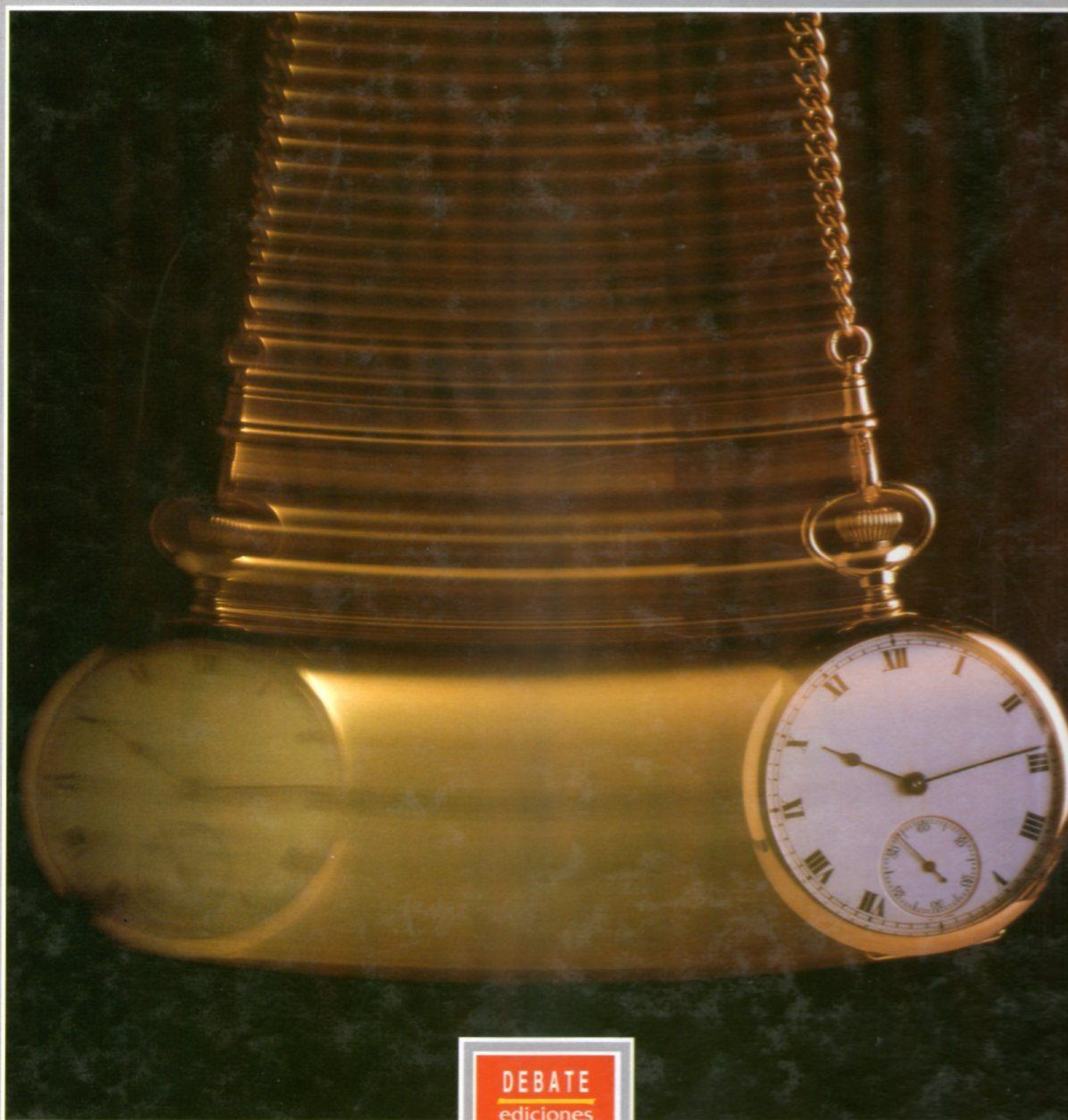
ATLAS de lo EXTRAORDINARIO

Los Ritmos de la Vida

VOLUMEN I



DEBATE
ediciones delPrado

ATLAS DE LO EXTRAORDINARIO

LOS RITMOS DE LA VIDA

Volumen I

ATLAS DE LO EXTRAORDINARIO

LOS RITMOS DE LA VIDA

Volumen I

DEBATE
ediciones del Prado

Dirección editorial de la serie:
Juan María Martínez
Ángel Lucía

Coordinación editorial de la serie:
Juan Ramón Azaola
Carlos Ponce

Dirección técnica de la serie:
Eduardo Peñalba

Coordinación técnica de la serie: Rolando Dias
Edición: Luis G. Martín, Íñigo Castro, Lourdes Lucía, Jinny Johnson, Rosanne Hooper y Pip Morgan
Fotografía y documentación gráfica: José María Sáenz Almeida, Marta Carranza, Juan García Costoso, Nano Cañas y Mel Peterson
Redacción: Ruth Binney
Diagramación y diseño: Zilda Tandy y Linda Abraham
Producción: Hugh Stancliffe
Suscripciones: Francisco Perales
Ilustraciones: Michael Woods, Eugene Fleury, George Glaze, Tony Graham, Tom McArthur, Richard Orr y Jim Robbins
Asesores: Edward S. Ayensu y Philip Whitfield
Autores: Paul Bohannan, John Brady, Kendrick Frazier, Martin Hetzel, Chris Morgan, D. M. Stoddart, Bryan Turner y Philip Whitfield
Versión castellana: María Jesús Hernández y Ana García Lucero

Título original: *The Rhythms of Life*

ISBN: 84-7444-678-3 Volumen I
Depósito legal: B-4.769-1993
Impreso en junio de 1994

Impreso y encuadernado en Edigraf, Barcelona

Foto de cubierta: Reloj oscilante. Fotografía de Uniphoto

Sumario

Volumen I





Introducción

Mientras este mundo nuestro parece volverse más caótico cada minuto que pasa, la mente humana anhela la belleza de la estructura y el orden. Encendemos el tocadiscos y por un breve instante los compases regulares de la música atemperan la confusión. El correr durante media hora marcando el paso nos hace dueños de nosotros mismos. El ansiado reposo que obtenemos una vez al año, en vacaciones, modifica nuestra vida familiar y nuestras relaciones.

De lo que probablemente no nos damos cuenta es de que todas esas influencias relajantes son intrínsecamente rítmicas. La música guarda un compás y un ritmo obvios, correr es repetir rítmicamente un ciclo de movimientos, y el apacible romper de las olas en la playa constituye un ritmo multidimensional del agua.

Una vez que se es consciente de los ritmos, uno se da cuenta de que se hallan por doquier, tanto a nuestro alrededor como dentro de nosotros mismos. El mundo de los hombres ha sido orquestado para constituir un medio rítmico, si bien un tanto complejo. Los ritmos del día y de la noche, el paso repetido de las estaciones, la estructuración mensual y diaria de las mareas e incluso los lentísimos ciclos históricos del clima terreste tejen la trama rítmica de todo lo que nos rodea.

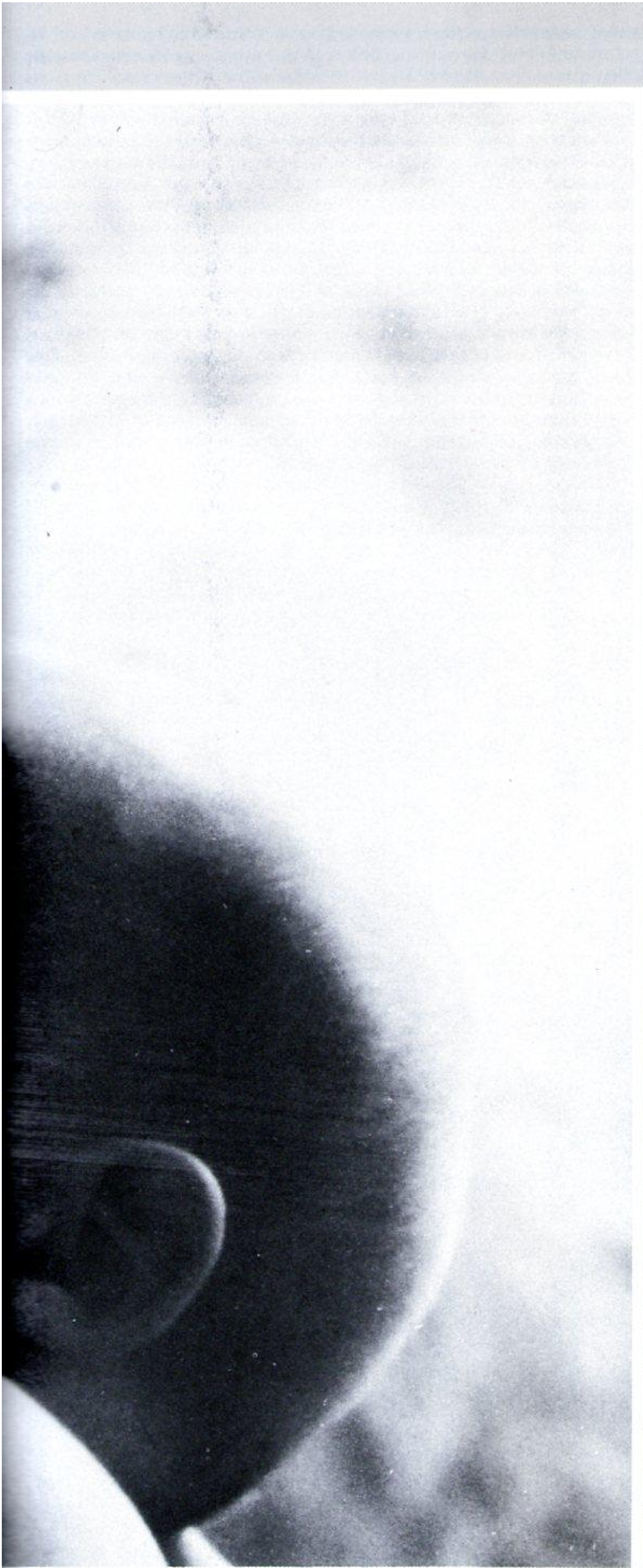
La vida adapta sus ritmos a los del entorno. El sentir repentinamente los propios latidos o el ser consciente del propio ritmo de la respiración son dos ejemplos corrientes dentro de la gigantesca gama de los ritmos de la vida. Pero la conclusión más sorprendente a la que se llega tras analizar y examinar detalladamente esos ritmos es que la especie humana, y prácticamente el resto de las criaturas que habitan el planeta, poseen una habilidad innata para medir el tiempo. Como si del mismísimo Superman se tratara, nuestros cuerpos y los de los animales y las plantas se acompasan a los ritmos del entorno, sin referencia alguna a las agujas de ningún reloj. No hay trampa ni cartón, sino la fuerza que gobierna toda vida en la Tierra.

Si el tiempo es de veras nuestro dictador planetario y los ritmos las manifestaciones de su supremacía, entonces se hace necesario el estudio de dichos ritmos para entender el funcionamiento de la vida. Queda pues claro el propósito que nos movió a escribir este libro y su interés. Los ritmos son la clave del conocimiento propio y de la comprensión de lo que nos rodea. Gracias a ellos toda vida adquiere su perspectiva adecuada.

Profesor Edward S. Ayensu
Smithsonian Institution, Washington D. C.

Dr. Philip Whitfield
King's College, Universidad de Londres





Los ritmos familiares

Dentro de la creciente complejidad de la vida humana, nos vemos rodeados de escenas y sonidos tan comunes que nos pasan desapercibidos. La familiaridad de lo cotidiano nos hace despreciarlo o, en todo caso, nos embota la imaginación. Si nuestra mente no estuviera tan entorpecida, recibiría alborozada el pequeño milagro de cada puesta de sol, de cada alumbramiento, del impacto de cada ola en la playa. Todos estos milagros periódicos se originan en un hecho muy simple: la vida es rítmica. Esta característica identifica, cual una seña de identidad, a los animales y plantas del planeta Tierra, pero es algo tan elemental que, por más que define nuestras vidas, raras veces le prestamos un minuto de atención.

Una vez que el intelecto ha asimilado la idea del ritmo, los ejemplos son obvios y se hallan presentes por doquier. El corazón nos late rítmicamente al tiempo que la respiración sigue un patrón más lento pero igualmente repetitivo. Al sueño sigue la vigilia. A escala temporal más larga vemos como la vida de las plantas se ajusta a un ciclo anual. Dentro de un ciclo regular y repetido los árboles indican las estaciones con una sucesión de ramas desnudas y yemas inactivas, la eclosión de los capullos en primavera, toda una profusión de hojas en desarrollo en verano y la caída de las hojas amarillas en otoño.

Un rasgo característico de todo ritmo es su frecuencia, es decir, el número de ciclos completos y regulares que tienen lugar por segundo, por minuto, por día, por año, por década e incluso por milenio. La cifra de la frecuencia de un ciclo aporta un medio útil de clasificar los ritmos biológicos, y constituye una característica que puede asumir prácticamente cualquier valor. Los latidos del corazón de un niño vienen a ser unos cien por minuto, el ritmo migratorio de una golondrina presenta una frecuencia de un único viaje de ida y vuelta al año. Esos dos ejemplos revelan una disparidad sorprendente en cuanto a la rapidez de los ritmos de la vida: el pulso del bebé supera en 50 millones de veces el ritmo migratorio de la golondrina. Hemos de esforzarnos para concebir tales escalas de diferencia. Por ejemplo, a un extremo del espectro tenemos la vibración de las alas de los insectos con una frecuencia de cientos de veces por segundo, mientras que al otro nos encontramos con las modificaciones profundas en la evolución animal que tal vez hayan sido causadas por los ritmos del clima terrestre, cuya frecuencia es de más o menos un ciclo cada mil años.

Cualquiera que sea su frecuencia, los ciclos de la vida se pueden distribuir en dos grupos bien diferenciados, dependiendo de si los ritmos se corresponden o no con cambios rítmicos externos del medio ambiente. Así, mientras que el latir del corazón y el ritmo de la respiración no se adaptan a ningún patrón rítmico externo, el de nuestro ciclo de sueño y vigilia se corresponde con el ritmo externo de la Tierra que abarca 24 horas de día y noche. La reproducción y migración de las aves y el ciclo de crecimiento de los árboles son ejemplos de ritmos sincronizados con el ciclo externo del paso de las estaciones. La mayoría de los científicos supone que los organismos se benefician marchando al ritmo del medio ambiente, e infieren que esas mismas plantas o animales rendirían menos si marcharan desacompasadamente con relación al medio.

El hombre no puede aislarse de las imposiciones rítmicas del mundo que le rodea: forma parte de los ritmos y estos forman parte de él. Contamos con unos ritmos fisiológicos internos semejantes a los del resto de los animales, y también con ritmos diarios y anuales, pero además hemos introducido variaciones que afectan a todos y cada uno de los aspectos de nuestra vida y de la sociedad.

Los ritmos y ciclos que percibimos, y los que no, existen tanto a nuestro alrededor como dentro de nosotros mismos. Para adquirir una comprensión general de su omnipresencia e importancia es esclarecedora una cierta dosis de autoanálisis, un examen cuidadoso de los animales que conocemos por intuición de manera más íntima —las mujeres, los hombres, los bebés, los niños—, los monos desnudos como nos ha llamado Desmond Morris. El especificar lo que distingue al hombre de los animales es algo que halaga el orgullo humano. Se ha descrito al hombre como el único animal poseedor de un auténtico lenguaje hablado, como al ser más curioso y como al supremo constructor de herramientas. Podría no resultar exagerado afirmar que el hombre es también el animal que presenta más facetas de fenómenos rítmicos en su vida. Lo que hace excepcional al hombre no es la naturaleza de sus ritmos corporales, sino el que haya ritualizado y formalizado sus ritmos hasta convertirlos en parte integral de su existencia. Con la tecnología puede también distorsionarlos.

Antes de seguir adelante es imprescindible esclarecer una espinosa cuestión de terminología. Hasta aquí las palabras ritmo y ciclo han venido usándose de manera más o menos indistinta, pero la semejanza y las diferencias entre ambos términos deben especificarse ahora más estrictamente. Simplificando las cosas, un ritmo se repite regularmente en el tiempo: el redoble del tambor, los latidos del corazón, los amaneceres son todos fenómenos rítmicos. Los ciclos son cadenas de acontecimientos que se producen en un orden dado, que se repite. ABCDABCD es un ciclo de letras; primavera, verano, otoño e invierno es el ciclo de las estaciones. Pero ¿qué relación existe entre un ritmo y un ciclo? Los ritmos atañen sobre todo a la regulación temporal de los acontecimientos; los ciclos, al orden en que éstos se producen. Son pues diferentes, si bien cuando los ciclos se completan a intervalos regulares pueden ser en gran medida rítmicos; en tales situaciones ciclo y ritmo son casi sinónimos.

Para aclarar esta distinción piénsese en un reloj mecánico normal. Si funciona bien, la aguja de las horas se comporta de manera cíclica, señalando en orden los números del 1 al 12 ininterrumpidamente. A la vez esta misma aguja sigue un ritmo, pues tarda siempre un intervalo regular de 12 horas en volver a señalar determinado número. En cambio, si pusiéramos este mismo reloj en medio de una tormenta de arena, ésta haría que la aguja se moviera de forma irregular sobre la esfera (al principio deprisa, luego despacio y con interrupciones). En tales circunstancias la aguja pierde el ritmo, y señala, por ejemplo, la una a intervalos variables, mayores o menores de 12 horas. Por más que el ritmo se destruye, el ciclo se mantiene: la aguja sigue pasando de la una a las dos, de las dos a las tres, etc., repitiendo la serie. Así pues los ciclos pueden ser rítmicos o no, mientras que los ritmos se suelen originar en mecanismos cíclicos subyacentes.

Con esta teoría como fondo, podemos empezar a distinguir los principales ciclos y ritmos de la vida humana. Algunos pueden percibirse fácilmente sin más ayuda que la de nuestros sentidos. Para descubrir otros hacen falta los más sofisticados y exhaustivos análisis del funcionamiento interno de nervios, glándulas y cerebro. Los hay que sólo se muestran tras un cuidadoso registro de la actividad y el comportamiento humanos en el transcurso de muchos días, meses o

El concepto de «aliento de vida» presente en las religiones judeocristianas, y en descripciones similares de otras religiones, testifica el antiguo significado espiritual del ciclo de la respiración. Para las sociedades precientíficas la respiración era el atributo esencial de la vida; si la respiración se paraba ocurría lo mismo con los demás procesos vitales. El ciclo lo constituyen una inspiración y una espiración. En reposo, dormidos o durante una actividad intensa respiramos inconscientemente de forma rítmica. Parte de la médula oblongada dirige este ritmo, enviando series rítmicas de impulsos nerviosos a los músculos del tórax y el diafragma.

Incluso en reposo, con respiraciones poco profundas y pulso regular, otros ritmos internos se agitan dentro de esta mujer. Estática como parece, muchos de sus tejidos se hallan en equilibrio dinámico de crecimiento y descomposición: la aparición de nuevas células se equilibra con la desaparición de las viejas. Células de la piel, el cabello, las uñas, la flora intestinal, millones de células de la sangre, están siendo renovadas continuamente. Estos procesos de renovación son modulados por ritmos con una periodicidad normal de 24 horas. La actividad celular bulle en el cuerpo estructurándose en pulsos largos y lentos que duran un día.

El latir diario del cuerpo se muestra en una gran variedad de funciones: existe un ritmo de flujo de la orina en apogeo entre las 10,30 y las 14,30 horas; una variación diaria de la presión sanguínea; una subida y un descenso de la temperatura corporal, y cambios pronunciados en el contenido hormonal de la sangre.



incluso años; y puede que se trate del comportamiento de masas enteras de población.

A nivel microscópico las unidades vivas elementales, las células, con las que se construye el cuerpo humano, ponen de manifiesto ciclos y ritmos que constituyen la base de nuestra existencia. Para funcionar correctamente, muchas de las partes del cuerpo necesitan renovarse constantemente, lo que obliga a las células a multiplicarse. Las células de la piel, por ejemplo, lo hacen de manera cíclica. Las células individuales duplican primero su material genético, que se parte en dos mitades idénticas; a continuación la propia célula se divide de modo que cada hija reciba un código genético completo. El proceso se repite en el ciclo de toda célula. Existe, superpuesto a este ciclo celular, un ritmo temporal a mayor escala, ya que en la mayoría de los tejidos casi todas las células se dividen durante la noche, no de día.

Algunas células del cuerpo, como las del cerebro y el sistema nervioso, dejan de reproducirse una vez que se han formado. Al especializarse como componentes activos de una computadora viva, tales células parecen haber perdido la capacidad de reproducirse por división. Aun así, las células nerviosas siguen manifestando unos ritmos propios de alta frecuencia. Lo que origina los impulsos nerviosos son cambios rítmicos rápidos de la carga eléctrica de superficie de las células nerviosas. Mediante este lenguaje celular los nervios llevan la información por todo el cuerpo. Los pulsos de actividad eléctrica, cuya frecuencia constituye un código de información, pueden alcanzar cotas de cientos por segundo.

A diferencia de las divisiones celulares y de los impulsos nerviosos, la frecuencia de la respiración y de los latidos del corazón del hombre es directamente perceptible. En reposo, ambas son actividades rítmicas relativamente constantes. En el caso de la respiración el lapso es de unos 5 segundos, y de unos 0,85 para el pulso. Estos períodos pueden variar debido a ciertos factores. La experiencia cotidiana nos muestra cómo el ejercicio eleva ambas tasas; el corazón late más deprisa y respiramos con mayor rapidez e intensidad. Al igual que con la división celular, existe también un ritmo diario para el latir del corazón, pues éste suele latir más deprisa durante la vigilia, aunque se esté descansando, que durante los períodos de sueño.

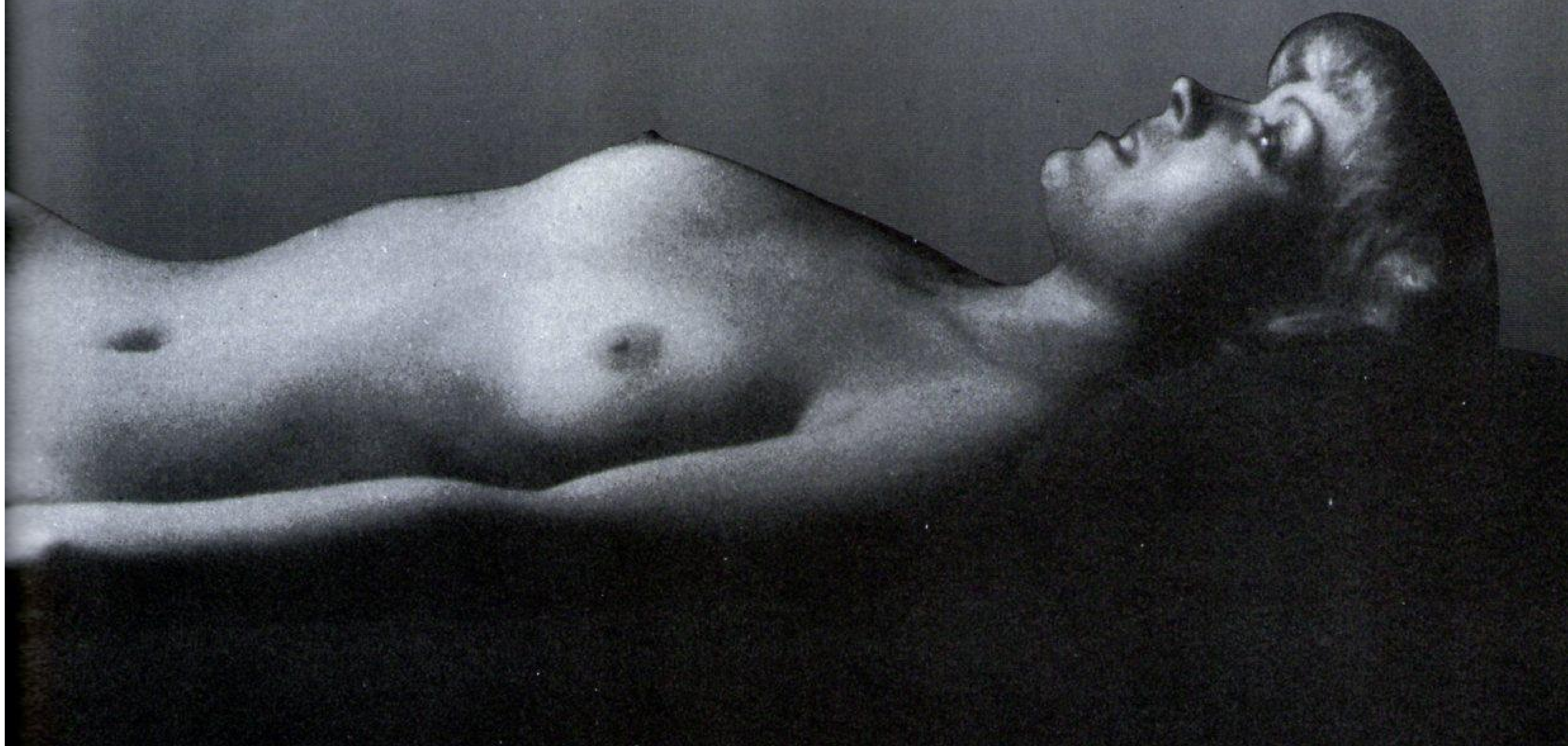
Existen pocas funciones fisiológicas que no se adapten a este esquema de periodicidad de unas 24 horas. La temperatura corporal, el flujo de la orina, la enorme variedad de niveles hormonales, el patrón de sueño y vigilia y la regulación del inicio del trabajo son sólo algunos de los atributos corporales que fluctúan con un ritmo diario. Es como si todos los órganos del cuerpo obedeciesen a la batuta de un director interno que marcara el compás muy lentamente, una vez cada 24 horas. Un hecho todavía más notable es que muchos de esos ritmos, más o menos circadianos o que duran aproximadamente un día, se mantienen aun cuando se haya suprimido toda indicación externa del paso del tiempo.

La conducta cíclica y rítmica de los hombres abarca también períodos mayores de un día. Esos ritmos de intervalo largo parecen ser generados en su mayoría por hormonas, aunque cuando los ciclos tienen una periodicidad anual a menudo resulta difícil separar lo fisiológico de lo psicológico. El ciclo menstrual de la mujer entra de

Hace miles de años, las civilizaciones de América Central y América del Sur captaron un hecho fundamental sobre la función del corazón. En sus sangrientas ceremonias rituales arrancaban el corazón de sus víctimas y lo veían latir separado del cuerpo. Supieron así que el corazón tiene una capacidad intrínseca para latir; sus células musculares cardíacas, incluso en los embriones de los vertebrados, tienen una facilidad innata para contraerse y alargarse rítmicamente.

Las mujeres no embarazadas presentan un ritmo tras la pubertad que las hace conscientes de los ciclos biológicos, al contrario que la mayoría de los hombres. El llamado ciclo menstrual es uno de los maravillosamente orquestados cambios fisiológicos y estructurales, que se producen en los ovarios, en el útero y en la vagina. El desprendimiento de la mucosa uterina y la consecuente pérdida de sangre constituyen para la mujer partes obvias del ciclo, pero entre cada dos períodos se produce un acontecimiento clave, a menudo inadvertido: uno de los ovarios libera un huevo que durante uno o dos días puede ser fecundado.

Ciclos complejos de producción hormonal subyacen a los cambios rítmicos del ciclo menstrual. Estas hormonas —estrógeno y progesterona— causan multitud de efectos que hacen coincidir los cambios mensuales con ciclos del estado de ánimo, la libido y otras alteraciones de la personalidad.



lleno en la categoría de los ciclos hormonales. Este ciclo de las mujeres no embarazadas dura una media de 28 ó 29 días (puede variar de 18 a 35); es por lo general extremadamente regular, desviándose sólo en un día o dos de sus valores normales a lo largo de muchos años. Un ciclo regular de cambios provocados por hormonas en los tejidos de los ovarios, útero y paredes vaginales subyace al ritmo temporal. A menudo un ciclo rítmico de cambios del estado de ánimo y de la líbido puede relacionarse con el ciclo de las hormonas, y se ha demostrado que muchas características femeninas sutiles, como la sensibilidad ante un estímulo doloroso de la piel, la reacción ante ciertos olores y la capacidad de distinguir cambios de tono musical, se acentúan y disminuyen de acuerdo con los altibajos de la producción hormonal durante el ciclo menstrual. El ritmo nos domina mucho más de lo que pensamos o conocemos.

Si bien es relativamente fácil estudiar muchos de los ritmos y ciclos de las células individuales, de los órganos y de los sistemas del cuerpo, resulta imposible abarcar en su totalidad el complejo de ritmos y ciclos humanos que se coordinan de manera tan exacta, entrelazándose y actuando unos sobre otros. No sólo cada órgano y cada actividad poseen una habilidad propia para medir el tiempo como relojes, sino que existen dentro del cuerpo jerarquías de tales relojes de clara interdependencia, con unos patrones de predominio y subordinación mutuos complicadísimos. Ni siquiera sabemos si hay un director máximo en esta jerarquía, un responsable central único que determine todos los tiempos.

En lo que se refiere a sus múltiples actividades y al desarrollo de su conducta, el cuerpo humano es tan intrincado como una orquesta sinfónica. Cada órgano, con sus propios ritmos internos, representa un instrumento ejecutando su parte de la sinfonía, pero tales ritmos sólo adquieren un significado total en relación a los otros instrumentos. La pregunta inmediata sobre la naturaleza de los ritmos biológicos es si la sinfonía completa de la actividad humana empieza a ejecutarse desde el mismo nacimiento. La respuesta parece ser «no». Al nacer el bebé ejecuta sólo los rudimentos de la majestuosa obra final, tocando unos pocos instrumentos. A lo largo de la lactancia, la infancia y la pubertad, nuevos instrumentos —es, decir, órganos y patrones de conducta nuevos— adoptan sucesiva y acumulativamente los temas rítmicos superpuestos a la totalidad; es necesaria pues al menos una década de experiencia directa de la sucesión de días y noches, del cambio de las estaciones, y del paso de los años, para que el animal humano se acompase totalmente a la fluctuación cíclica del mundo en que vive.

La historia detallada del perfeccionamiento de nuestra comprensión del lento y meticuloso desarrollo de los ritmos humanos es fascinante. Muestra cómo ha sido posible que surgieran ideas equivocadas sobre la conducta, revela cómo a través de la simple observación minuciosa se pueden obtener resultados sorprendentes y demuestra que incluso los bebés más pequeños contienen ya en embrión el carácter rítmico de los adultos en sus respuestas elementales al mundo que les rodea. El aspecto que mejor se conoce del desarrollo de una conducta circadiana por parte del bebé es el ciclo de sueño y vigilia. Este ciclo consiste en un esquema alternante de períodos en que el bebé está despierto con otros en que está dormido. La mayoría de los adultos dividen las 24 horas en



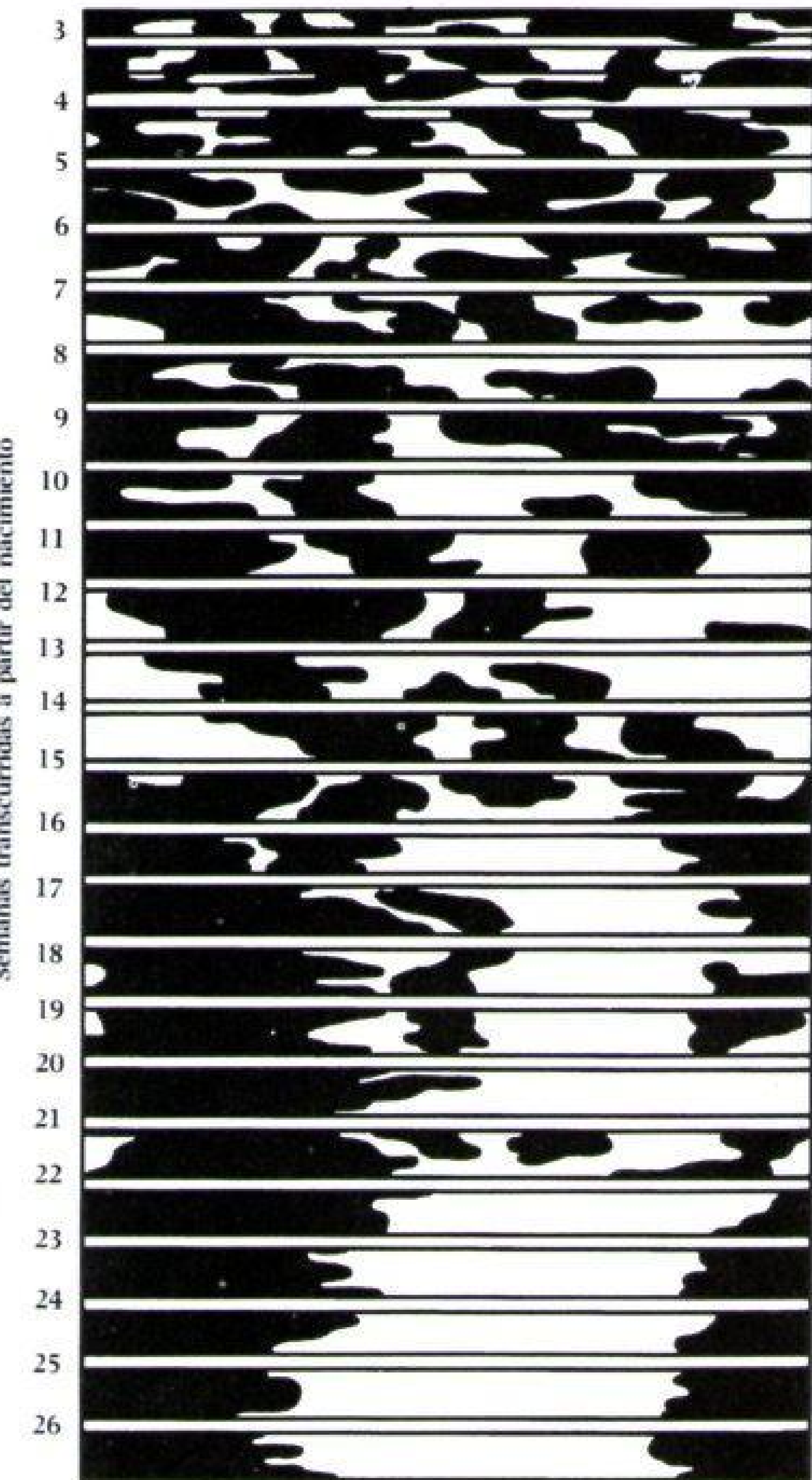
Hay un aspecto de la paternidad relacionado con el patrón de sueño del bebé, que exige una coordinación entre la conducta del adulto y la del niño. Según se desarrolla el ritmo de sueño normal, el crecimiento del niño atraviesa una serie de fases variables, de las cuales emerge el esquema de un período de sueño y otro de vigilia cada 24 horas. Los «expertos» en materia de crecimiento infantil han venido discutiendo hace años si tal patrón de sueño variable ha de verse afectado por un régimen alimenticio regular, o debe respetarse alimentando al bebé «según lo pida». Sea cual sea el sistema que se adopte, está claro que si a un niño se le deja a su aire no se despertará a intervalos regulares durante los primeros meses de vida.

una serie regular de aproximadamente 16 horas de vigilia y 8 horas de sueño, comenzando cada uno de estos períodos hacia la misma hora todos los días. Los experimentos que se han realizado con personas sin acceso a relojes ni indicaciones externas del tiempo, como el amanecer o la puesta del sol, muestran que tales individuos, aun aislados, conservan una habilidad personal interna para mantener un ritmo circadiano de sueño y vigilia. El hombre es portador de un reloj interior o endógeno, que le incita al sueño una vez cada 24 horas.

Cualquier padre sabe que en las primeras semanas y meses de la vida de un bebé esto no sucede así. Remitámonos si no a las noches en vela de tantos y tantos padres para constatar que el patrón de sueño de un bebé es muy diferente al de un adulto. Sin embargo, ha sido difícil obtener una comprensión más específica de dicho patrón. En la primera mitad de siglo se aseguraba que los recién nacidos necesitaban dormir más de 22 horas de cada 24, y que durante el primer año ese período disminuía.

Un hito en las investigaciones pioneras lo constituyen los estudios llevados a cabo en EE.UU. durante la década de los cincuenta por Kleitman y Englemann, quienes contribuyeron enormemente a sustituir lo anecdótico, en materia de sueño infantil, por datos concretos. Aunque llevaron a cabo sus investigaciones únicamente sobre 19 bebés, durante los primeros seis meses de vida, sus descubrimientos centrales no son sólo interesantes, sino que aportan ideas útiles sobre aspectos específicos del cuidado del niño (por ejemplo, si deben ser alimentados cada cuatro horas o «según lo pidan»). Se controló a los niños por primera vez a las tres semanas. Ya a tan temprana edad dormían un total aproximado de 15 horas de cada 24, y se daba ya un leve exceso de sueño durante la noche. Entre las 8 de la tarde y las 8 de la mañana los bebés dormían una media de 8 horas y media mientras que de 8 de la mañana a 8 de la tarde dormían sólo 6 horas y media. Conforme crecían, este patrón se iba acentuando y era acompañado por una disminución gradual, aunque a pequeña escala, de la cantidad total de sueño. Hacia los seis meses el patrón adulto comenzaba a emerger desde los atisbos de ritmo presentes a las tres semanas. Los niños dormían una media de 13 horas y media de cada 24, pero 10 correspondían a la noche y sólo 3 y media al día.

Ya en el alumbramiento, la primera respiración marca el inicio de un auténtico ritmo respiratorio, con una serie maravillosamente articulada de cambios casi instantáneos en el corazón, los pulmones y la circulación. Otros períodos característicos del desarrollo del bebé señalan el comienzo de pronunciados ritmos circadianos —del día a la noche—, en diferentes funciones corporales. Durante los primeros días de vida pueden observarse cambios, entre el día y la noche, en la resistencia eléctrica de la piel del bebé. A las dos o tres semanas las fluctuaciones de la temperatura corporal adoptan un patrón claramente circadiano, mientras que cambios similares del pulso y la producción de orina tienen lugar entre la cuarta y la veinteava semana de vida. Sólo tras el comienzo de la pubertad y la madurez sexual de chicas y chicos comienzan a establecerse las pautas hormonales del adulto. El primer período, que en las muchachas occidentales tiene lugar hacia los trece años, constata por vez primera pero de forma definitiva toda la variedad de ciclos y ritmos corporales, tanto circadianos como mensuales.



La comprensión de la conducta rítmica de los bebés aumentó tras un experimento de control de un niño durante los seis primeros meses de vida. En esta versión simplificada de los datos, cada barra horizontal representa los períodos de sueño (zona oscura) y los de vigilia (zona clara), por semana. Tras las primeras semanas caóticas, surge un ritmo de 25 horas entre la 5 y la 25 semanas. Luego cambia a un ritmo de 24 horas, concentrándose el sueño por la noche.

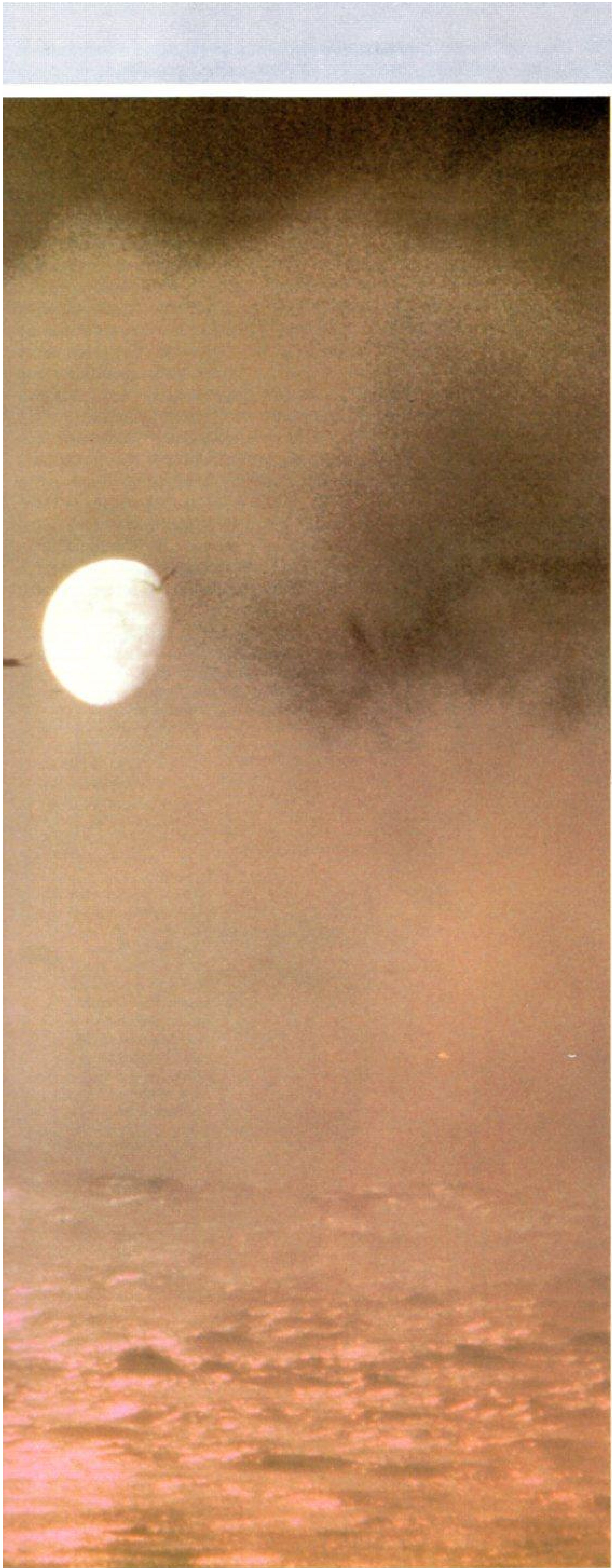
Edad del niño	Funciones rítmicas en desarrollo
Una semana	Ritmo de resistencia de la piel a la electricidad
De 2 a 3 semanas	Empieza a aparecer el ritmo de temperatura corporal
De 4 a 20 semanas	Casi se ha adquirido el ritmo de sueño y vigilia Presenta ritmo de temperatura corporal Presenta ritmo cardíaco La excreción de orina, sodio, potasio y fosfato muestra apogeos de día
De 5 a 9 meses	Todos los ritmos de vigilia aumentan y se hallan en casi todas las funciones observadas
De 16 a 22 meses	Se desarrolla el ritmo de excreción de creatina, creatinina y cloruro

La diferenciación clara de las funciones nocturnas y diurnas surge a lo largo de la lactancia y la infancia, en un orden significativo. Es como si cada proceso funcionara al principio de manera incontrolada, y fuera sometiéndose a la influencia y al control del reloj íntimo del cuerpo. Conseguido esto, existe un ritmo claro con un lapso casi exacto de 24 horas. Ciertos órganos como la piel, perfectamente formados desde el nacimiento, muestran un ritmo de 24 horas desde los primeros días. Otros, que no maduran hasta pasadas semanas o meses, desarrollan sus ritmos a ese tenor.

Mientras está despierto, el bebé comienza a reconocer los ritmos de su entorno y a sincronizarse con ellos.







Los ritmos cósmicos

Imaginemos un extraterrestre de una raza infinitamente más avanzada que la nuestra, cuya misión consistiera en recoger organismos exóticos e interpretar sus formas de vida. Sentado en una sala de control de su remota galaxia, activa su aparato antigravitatorio de deformación espacial, y recoge al azar una colección de animales terrestres a años luz de distancia.

Poseería los organismos, pero ¿cómo podría deducir algo acerca de su mundo de origen? De hecho, entrelazado con la estructura fisiológica y la conducta de esos animales, existe un inventario extraordinariamente preciso, con información sobre las condiciones de la Tierra y de la naturaleza de nuestro sistema solar. Tal información no existe porque sí, antes bien es la manifestación física de 3,5 evos (un evo equivale a mil millones de años) de evolución orgánica. El inexorable mecanismo de selección empuja poco a poco a los organismos que se reproducen a una adaptación cada vez más íntima a las condiciones en que han de vivir. Con infinita lentitud, pero sin pausa, plantas y animales se van adecuando a la vida en la Tierra. Cada mínima mejora los convierte en espejos más fieles de su entorno.

Así pues nuestro coleccionista interestelar aprendería mucho sobre nuestra morada planetaria. La constitución física y la sensibilidad a la temperatura de los especímenes le proporcionarían claves básicas. Primero le mostrarían el campo gravitatorio aproximado de nuestro planeta y por tanto sus dimensiones, y en segundo lugar que en la Tierra la mayor parte de los seres vivos habitan zonas con una temperatura entre los —10° y los 40° centígrados. La composición química y la falta de sistemas para evitar la desecación sugieren un planeta con abundante agua. Los efectos provocados por diversas mezclas de gases usadas experimentalmente revelarían el tipo de atmósfera.

Sorprendentemente, criaturas que van desde un árbol a una cucaracha aportarían información sobre la naturaleza de nuestro sistema solar, ya que la organización intrínseca de cualquier ser vivo de la Tierra —cucarachas incluidas— encaja en un patrón de diseño dictado por los movimientos de la Tierra y la Luna en el espacio. El más superficial de los exámenes temporales le revelaría a nuestro investigador intergaláctico que, en su colección, sólo se repetirían de manera constante fenómenos rítmicos de unas pocas frecuencias.

Casi todas las plantas y animales presentarían ritmos circadianos o diarios, con un lapso de unas 24 horas. Todas las formas de vida longevas mostrarían ciertas actividades con una periodicidad rítmica de unos 350 días, es decir, ritmos anuales. La periodicidad de cualquier organismo marino andaría en torno a las dos veces al día; otras, con lapsos de 14 a 28 días, corresponderían a los esquemas temporales de las mareas. Cualquier extraterrestre avispado concluiría pues que el planeta X rota sobre su eje una vez cada 24 horas, completa su órbita solar en unos 350 días y cuenta probablemente con un único satélite, con un período orbital de X días de cada 28, que causa elevaciones de la marea en las grandes masas de agua planetarias.

Bajo toda esta broma de cienciaficción hay un hecho muy serio, y es que cada uno de nosotros, cada una de las 10 millones de especies que se han desarrollado y pululan sobre la Tierra, lleva impreso de manera indeleble el sello del movimiento planetario de nuestro mundo. Pasemos ahora a examinar las bases físicas de tal sello, los mecanismos que generan el entorno rítmico que nos ha convertido en criaturas rítmicas.

La historia documentada de la humanidad se remonta a unas decenas de miles de años, desde las primeras pinturas rupestres. Por otra parte, para hacerse una idea de la edad de la Tierra, esta concepción popular de la historia resulta inútil. Para entender las influencias astronómicas que han conformado y conforman los patrones de cambio regular de nuestro entorno, debemos ampliar la magnitud temporal de la concepción histórica hasta abarcar la trayectoria de la vida de nuestro sistema solar: el Sol y todo su solícito rebaño de planetas, asteroides, lunas y cometas atrapados por la gravedad.

Situar en su contexto al Sol, nuestra estrella, situándonos asimismo nosotros, significa determinar primero nuestra posición en el universo. Esto es conceptualmente difícil, ya que el mapa del universo no tiene márgenes. Toda descripción posicional ha de ser pues relativa a otros objetos. No hay centro, no hay cuadrícula que valga para el universo. Somos parte de los detritos en rápida expansión de la «gran explosión» primigenia, del acontecimiento de violencia impensable que originó nuestro universo. El más fértil de los acontecimientos, el auténtico cero, puede situarse en un marco histórico muy vago; probablemente tuvo lugar hace 10 o 15 evos, y la radiación cósmica de fondo generada por la bola de fuego reverbera aún por el universo.

En los modelos más sencillos de la gran explosión, átomos de pequeña masa, distribuidos de manera uniforme, se esparcen infinitamente por el espacio desde ese momento. Pero si la materia hubiese permanecido desparramada no existirían galaxias, ni estrellas, ni planetas, ni seres humanos. Por una combinación de causas aún desconocida, el universo en expansión adquirió una estructura a gran escala, congregándose la materia en millones de galaxias diseminadas. Cada galaxia es un denso archipiélago de estrellas, y cada estrella una inmensa concentración de materia. Entre las galaxias existen tramos intergalácticos gigantescos y casi vacíos.

La variedad de las galaxias es enorme, pero todas ellas son universos-isla a escala imposible de imaginar. Son tan grandes que los astrónomos tienen que usar para describirlas una impresionante terminología de unidades, siendo la más llamativa el año luz, es decir, la distancia recorrida por la luz a 229.000 km. por segundo durante un año, unos 9,6 miles de millones de km. Parte de nuestra galaxia, la Vía Láctea, puede verse en el cielo nocturno. Vista desde fuera es una galaxia espiral, aplanada y con forma de lente, bastante grande en comparación con otras galaxias espirales. De punta a punta mide unos cien mil años luz y contiene unos cien mil millones de estrellas. Una de tantas innumerables es nuestro Sol, a unos 30.000 años luz del misterioso centro galáctico. Esto nos coloca en nuestro lugar, ya que no sólo nos sitúa físicamente, sino que enfatiza la insignificancia de todo nuestro sistema solar: en términos galácticos estamos en el extrarradio.

En el contexto del universo nuestro sistema solar es comparativamente joven, habiéndose condensado a partir de una nube de átomos por determinado proceso todavía desconocido, hace unos 5 evos. La naturaleza exacta del origen del Sol y los planetas es materia de intensa especulación científica, pero no cabe duda de que el Sol posee un interesante surtido de planetas —Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón—, cada uno de los cuales gira en torno al Sol en una órbita elíptica, constituyendo un mundo

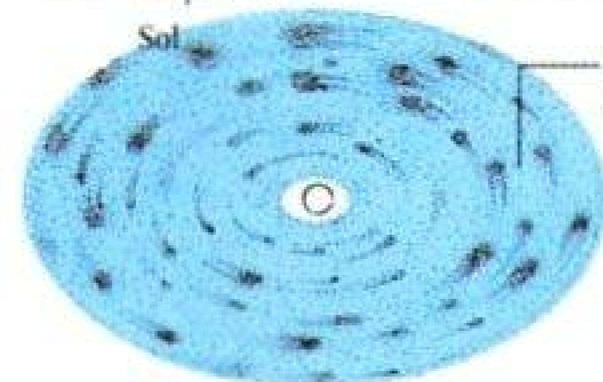


La Vía Láctea es como una espiral de brazos múltiples, con un centro abultado, según se ha deducido tras examinar las características de galaxias lejanas y compararlas con la nuestra. Como estamos inmersos en uno de sus brazos resulta difícil observarla directamente. Los telescopios ópticos y los de radio pueden descubrir la estructura global de configuraciones típicas tales como la galaxia-remolino, *abajo*, con un núcleo brillante y dos brazos salientes. Los mismos aparatos pueden aportar información sobre la Vía Láctea desde dentro. En este tipo de galaxia, las estrellas de los brazos espirales emanan de un denso centro, *izquierda*. Cada 200 millones de años un brazo de la Vía Láctea completa un giro sobre el centro.

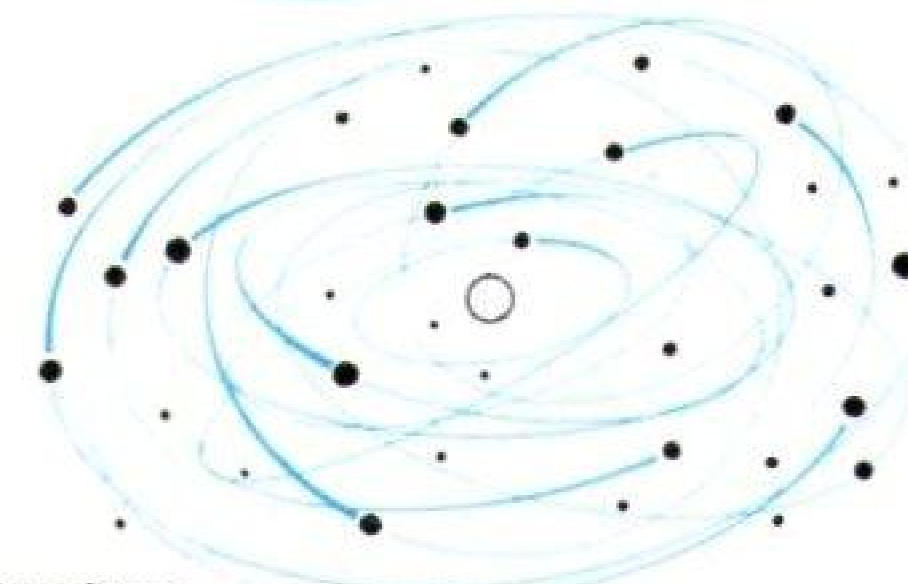


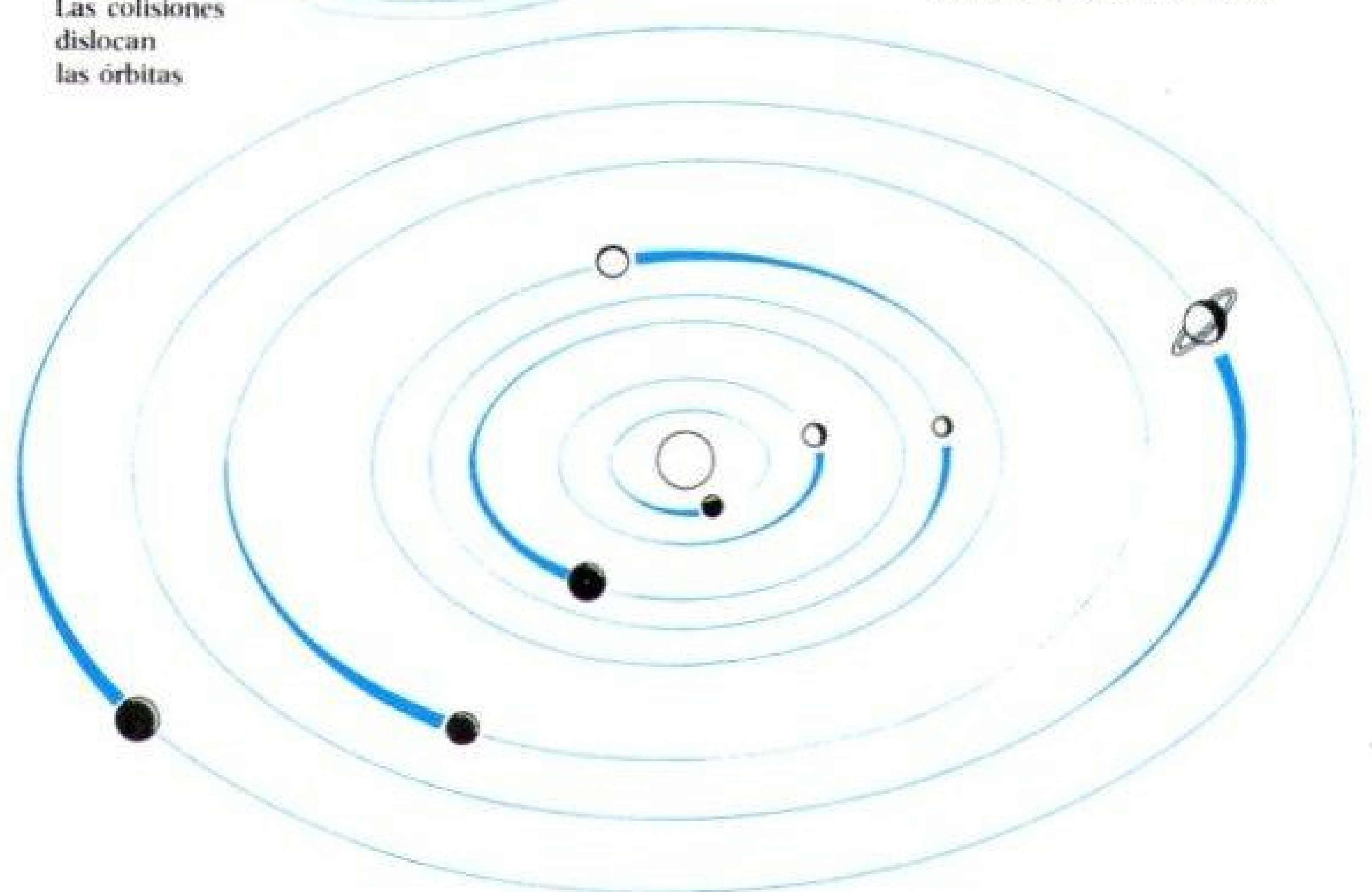


Nuestro sistema solar se formó a partir de una nube de polvo y gas, hace unos 5 evos. Todas las teorías admiten que la gravedad jugó un importante papel en la condensación de la nube que produjo el Sol y los planetas. Una teoría sugiere que una nube esférica de materia se derrumbó, formando un disco con un Sol radiante en el centro, *izquierda*.



La enorme liberación de energía de este Sol creó una amplia gama de temperaturas en el disco: calor cerca del Sol y frío en la periferia. Esta distribución del calor puede haber ocasionado los tipos de planetas actuales: calientes y rocosos cerca del Sol, fríos y gaseosos lejos. Los tres diagramas, *izquierda*, muestran: multitud de planetas embrionarios en órbita; etapa intermedia de colisiones que alteran sus órbitas; y estado actual en que los planetas adultos se han asentado de nuevo sobre el plano del disco.





independiente, con fascinantes diferencias entre sí. Mercurio, la Tierra, Venus y Marte, los cuatro pequeños planetas interiores, son densos y rocosos, con densidades medias entre 4 y 5,5 veces la del agua. Los planetas exteriores, más grandes, con excepción de Plutón, se componen básicamente de gases. Sus densidades son mucho más bajas, oscilando entre las 0,7 y 2,3 respecto al agua. Para entender las condiciones necesarias para la vida y los detalles de nuestra climatología global, lo mejor es comparar la Tierra con Venus y Marte.

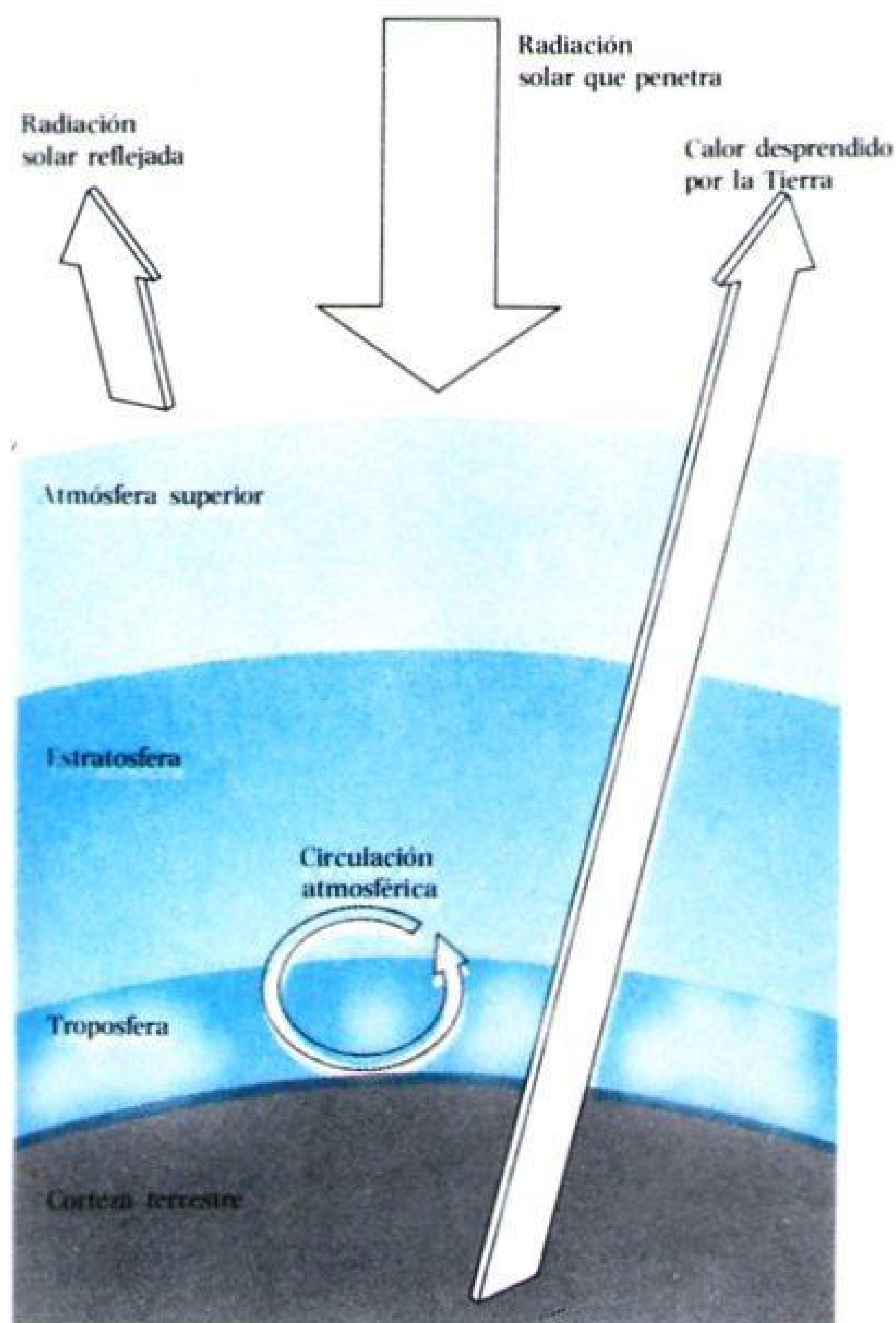
Inicialmente la temperatura de la superficie de la Tierra, determinada por la energía que irradia el Sol desde unos 150 millones de km. de distancia, era de unos 25 °C. La atmósfera original estaba constituida por dióxido de carbono y vapor de agua, gases estos desprendidos sobre todo por los volcanes. A la temperatura ambiente de la Tierra, el dióxido de carbono se mantuvo como gas, pero la mayor parte del agua se condensó para formar ríos, lagos y mares. Parte del dióxido de carbono desapareció de la atmósfera al disolverse en las aguas de la Tierra, mientras que a través de la evaporación de los mares el vapor de agua retornaba a la atmósfera: nubes y lluvia son elementos del clima terrestre desde hace miles de millones de años. Las nubes blancas, por su parte, son capaces de reflejar en gran medida algunas de las radiaciones de onda corta del Sol, reduciendo así la entrada de energía al planeta que se halla debajo. Resultó pues que la temperatura de superficie descendió a una media de unos 15 °C, cifra en la que se estabilizó.

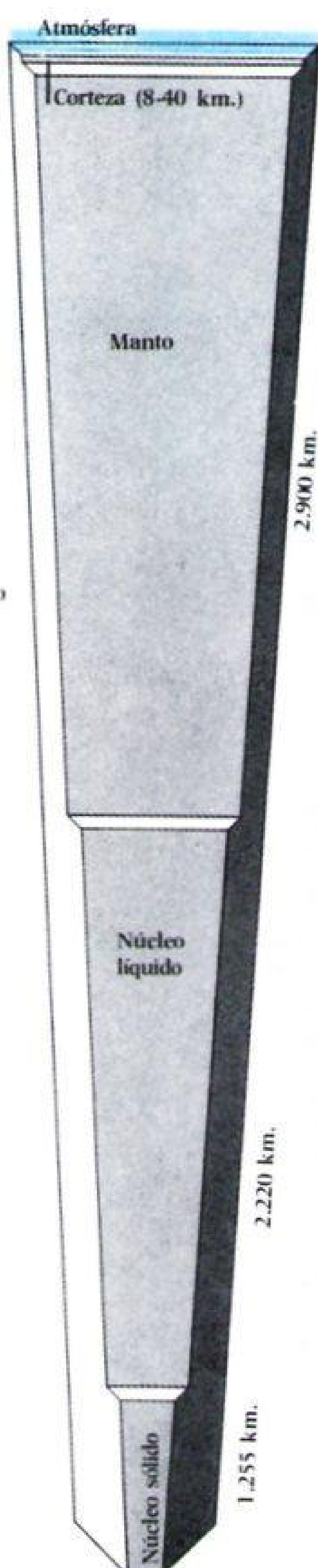
Por decirlo de forma muy simplificada, la presencia de agua, unida a una temperatura fisiológicamente suave, condujo al desarrollo de la vida en la Tierra hace por lo menos 3,5 evos. En cuanto se desarrollaron células como las de las plantas capaces de asimilar el dióxido de carbono de la atmósfera, y expulsar oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, la atmósfera de la Tierra se alteró espectacularmente. El oxígeno, que apareció en cantidades cada vez mayores, supone hoy una quinta parte de los gases de la atmósfera, volumen gigantesco de origen casi exclusivamente biológico. Actualmente el nitrógeno constituye la mayor parte de la atmósfera. Este gas, que sólo aparece en cantidades muy pequeñas entre los gases emitidos por los volcanes, ha llegado, sin embargo, a ser importante por acumulación, dado que no es consumido por ningún tipo de actividad biológica.

Comparados con la Tierra, Venus y Marte son mundos de tamaño similar, de composición rocosa y posiblemente con una actividad volcánica inicial. ¿Por qué pues no existe vida en ellos? La respuesta parece ser sencilla: Venus está demasiado cerca del Sol, Marte demasiado lejos. En Venus, a sólo 107 millones de km. del horno solar, la temperatura original de la superficie era de unos 87 °C. A tal temperatura gran parte del agua y del dióxido de carbono estaban en forma gaseosa. Esta espesa coraza de gas produjo un intenso «efecto-invernadero», por el cual la energía del Sol, tras alcanzar la superficie del planeta, no podía regresar, debido a la capacidad de absorción de los gases. La acumulación de energía resultante ha elevado la temperatura de superficie de Venus de manera desastrosa —actualmente es de unos 500 °C—, sin posibilidad alguna de vida al estilo terrestre.

Marte está a unos 225 millones de km. del Sol. Tal lejanía supuso una temperatura inicial congeladora de unos —30 °C. A esta temperatu-

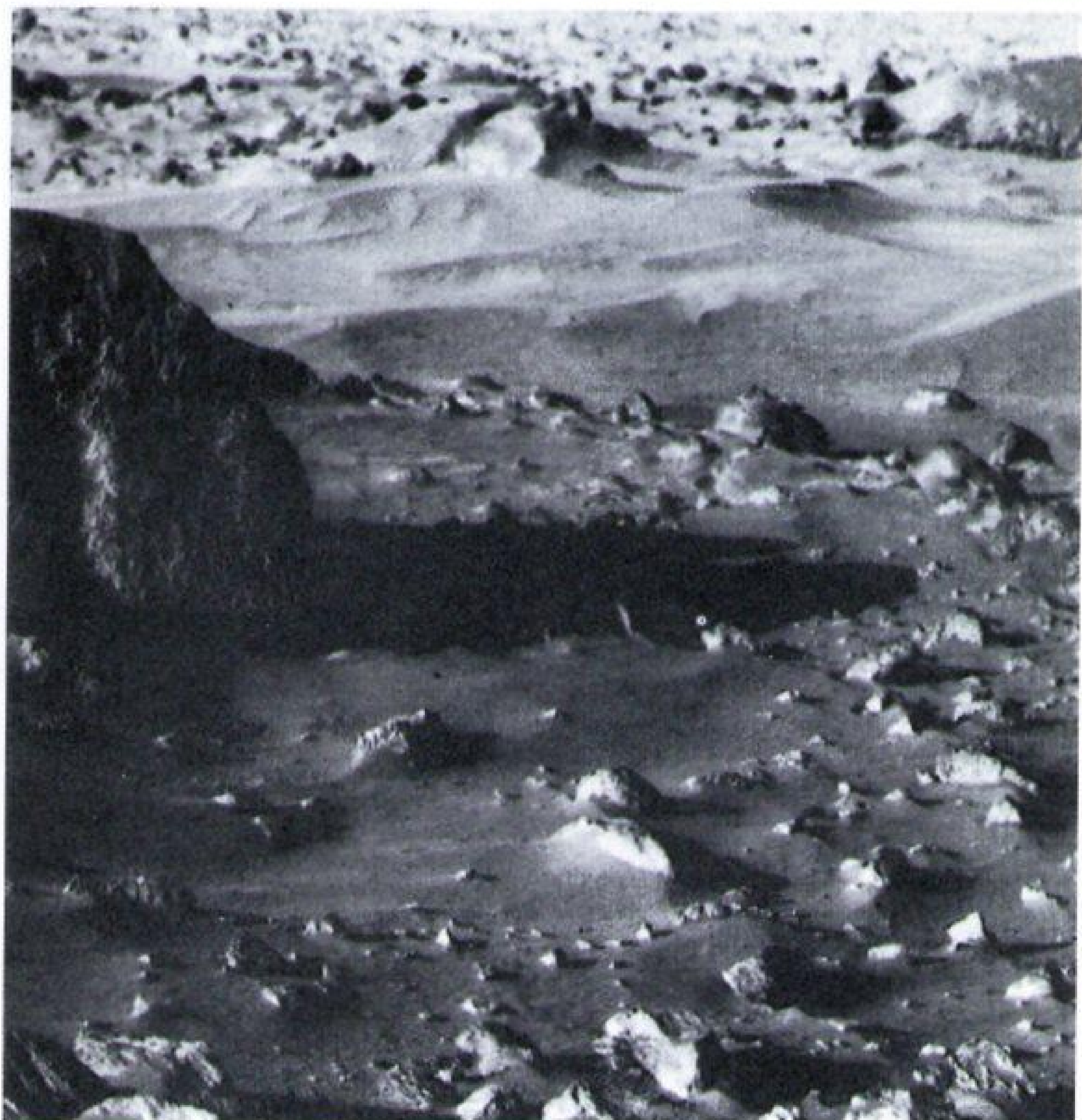
La atmósfera de la Tierra se divide, a grandes rasgos, en tres zonas de densidad decreciente del gas: una densa troposfera, una estratosfera pobre, y una atmósfera superior más pobre todavía. El tiempo atmosférico se genera en la troposfera debido a la radiación solar. Parte de la radiación es reflejada por las nubes, la atmósfera y el hielo. El resto calienta la Tierra, cuyo calor activa la máquina del clima, o escapa al espacio. Los polos reciben menos radiación y reflejan más que los trópicos: esta diferencia causa los movimientos de las masas de aire, base del clima. Un corte de la Tierra, *derecha*, muestra la extrema delgadez de la atmósfera y de la corteza terrestre en relación con el tamaño del planeta.





Durante la expedición Viking de la NASA se tomaron espectaculares fotografías de Marte. La imagen de la derecha, tomada desde 560.000 kms. de distancia, muestra claramente tres volcanes típicos de un planeta rocoso. La imagen inferior, tomada por el Viking I, muestra las rocas y los detritos de polvo del desierto marciano.





ra, todo el vapor de agua que llega a la atmósfera es inmediatamente recuperado en forma de hielo. Incluso parte del dióxido de carbono se solidifica, resultando una atmósfera delgada y enrarecida, incapaz de provocar ningún tipo de «efecto-invernadero», de modo que la temperatura permanece muy baja. La superficie de Marte es un desierto helado; la de Venus, uno abrasador. De nuevo la vida resulta imposible. Pero si la vida de tipo terrestre es consecuencia de hallarse sobre un planeta rocoso, a distancia adecuada de una estrella, entonces es perfectamente lógico suponer que nuestra galaxia contiene muchos planetas vivos como el nuestro.

Una vez que la vida se hubo desarrollado en la Tierra, el Sol cobró nueva importancia. Siendo la mayor fuente de energía del sistema solar, el Sol se convirtió en el único y definitivo proveedor de energía digno de mención para todo proceso de vida. Aun hoy en día cumple tal función, de modo que el culto al Sol tal vez sea la más racional de las religiones. El Sol es una fuente de energía de poder gigantesco, una bola inmensa compuesta casi sólo por hidrógeno y helio, los dos elementos más sencillos del universo. El Sol lleva cinco evos agotando esta energía, y probablemente seguirá haciéndolo otros cinco más. ¿Pero cómo es posible que esta cantidad de energía se derive durante diez evos de dos gases que en la tierra ocupan los laboratorios de química de modo tan anodino, sin reaccionar apenas? Es una auténtica desgracia que tales gases se hallen en nuestro mundo en estado diferente. En la punta de cada misil intercontinental hay en potencia un diminuto e incontrolado Sol por lo menos. La explosión de una bomba de hidrógeno —un dispositivo de fusión en la jerga amable de los físicos— ilustra la terrible energía encerrada en la estructura atómica del hidrógeno, o de hecho en la de cualquier otro elemento.

El Sol es esencialmente una gigantesca bomba de hidrógeno equilibrada y controlada. Su masa es tan inmensa que, en el núcleo, la gravedad garantiza que la materia esté lo suficientemente caliente y los núcleos de hidrógeno lo suficientemente apretados como para que se produzca la fusión del hidrógeno. A temperatura terrestre el hidrógeno existe normalmente como átomos neutros, consistentes cada uno en un núcleo compuesto por una partícula de carga positiva, protón, en torno a la cual gira una partícula de carga negativa, electrón. Pero en el corazón solar, debido a las altas temperaturas, el hidrógeno no existe como átomos neutros, sino como protones que se mueven vertiginosamente dentro de una nube de electrones, formando una «sopa» o plasma de partículas.

En circunstancias normales los protones, pese a estar en movimiento, no podrían chocar debido a sus cargas positivas, que los alejarían como si se tratara de dos polos norte magnéticos. Pero a temperaturas superiores a los 10 millones de °C, en el núcleo del Sol, los protones se mueven lo suficientemente deprisa como para chocar en ocasiones, con tal fuerza que se funden. En el centro del Sol tiene lugar una cadena compleja de reacciones de fusión, en la cual los núcleos de hidrógeno se funden para construir un tipo de núcleo de helio, conocido como helio-4 porque contiene dos protones y también dos partículas neutras o neutrones. El primer paso de esta reacción es el enlace de dos protones para formar un deuterón (núcleo del deuterio o hidrógeno pesado). El último paso es la colisión de dos núcleos de helio-3, cada uno de los

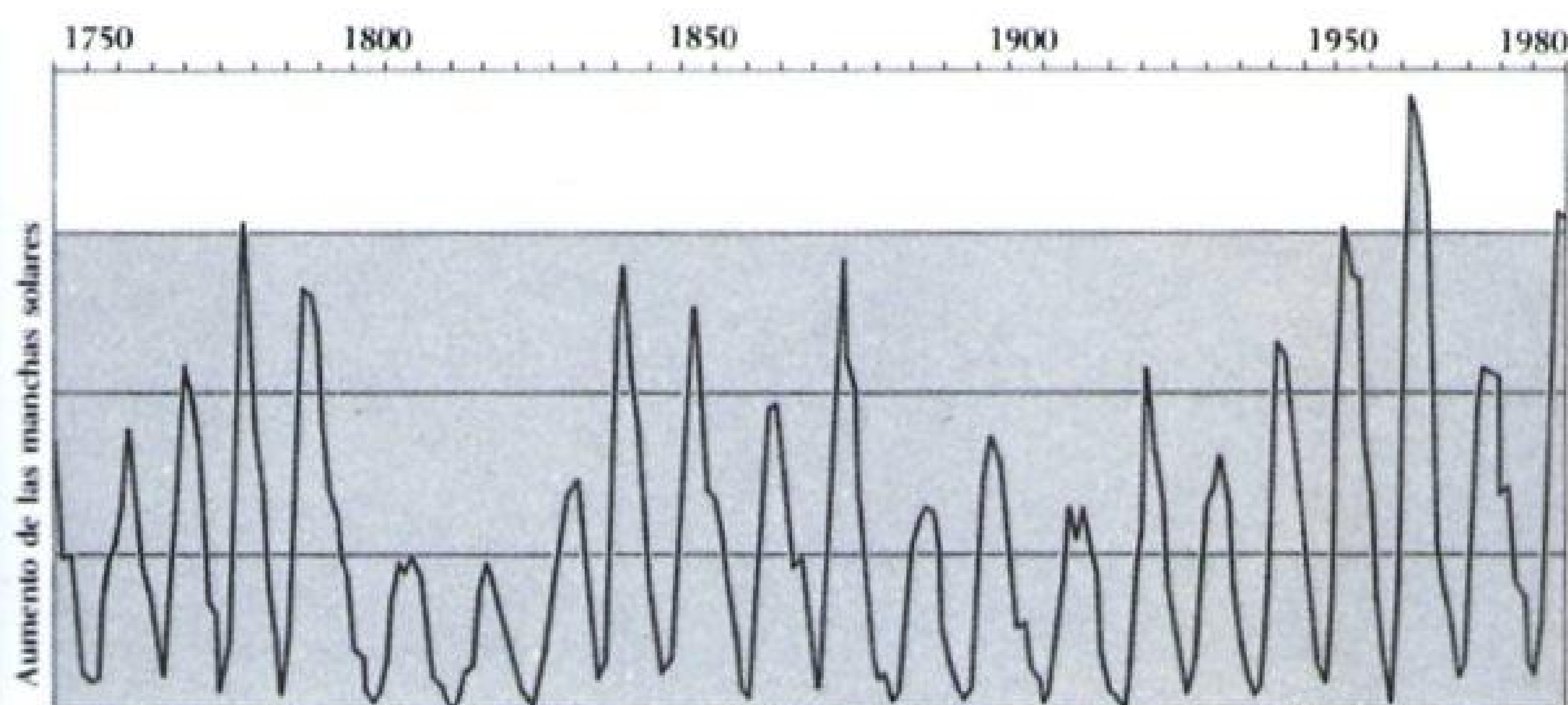


cuales se compone de dos protones y un neutrón. Esta es la reacción clave, porque la masa total de los productos de la colisión es ligeramente menor que la de las partículas que entraron en contacto nuclear. Una pequeña diferencia en la cantidad de la masa del helio podría parecer insignificante, pero de hecho esta pérdida es lo que nos mantiene vivos. La razón estriba en que la masa que desaparece se convierte directamente en energía, siendo espectacular el índice de transformación. Por cada gramo de helio-4 que se produce resultan 175.000 kw./h. de energía, lo que viene a ser un horno eléctrico de una sola resistencia encendido durante veinte años. La pérdida de masa no es pues un error de cálculo. La energía que mantiene caliente el Sol es lo que produjo las condiciones adecuadas para la aparición de vida en la Tierra, y lo que en definitiva sigue rigiendo toda actividad biológica, al tiempo que genera nuestro clima. Al contrario que la bomba de hidrógeno, el Sol dispone de medios para controlar la reacción de fusión, siendo tal mecanismo de control inherente a su estructura. La fusión sólo tiene lugar en el centro mismo de la enorme masa del Sol, en donde imperan condiciones elevadísimas de presión y temperatura. En el centro de la estrella la temperatura es de unos 15 millones de °C, y la densidad del plasma ronda los 160 gr./cm.^{3} de materia (densidad doce veces mayor que la del plomo). El Sol no estalla a pesar de este núcleo tan terriblemente energético, porque sobre él se acumula una capa, de unos 500.000 km. de ancho, de hidrógeno y helio que no se funden. Los 400.000 km. interiores de esta acumulación son una zona de transferencia de radiación, en donde la materia es lo suficientemente transparente como para que el resplandor del calor generado en el núcleo la atraviese. La mayor parte de los 100.000 km. exteriores son una zona de convección, donde la opacidad de los gases basta para retrasar la fuga por simple radiación del calor. Como resultado, se producen grandes desfases de temperatura local, y gigantescos movimientos de convección de gas caliente transvasan la mayor parte del calor.

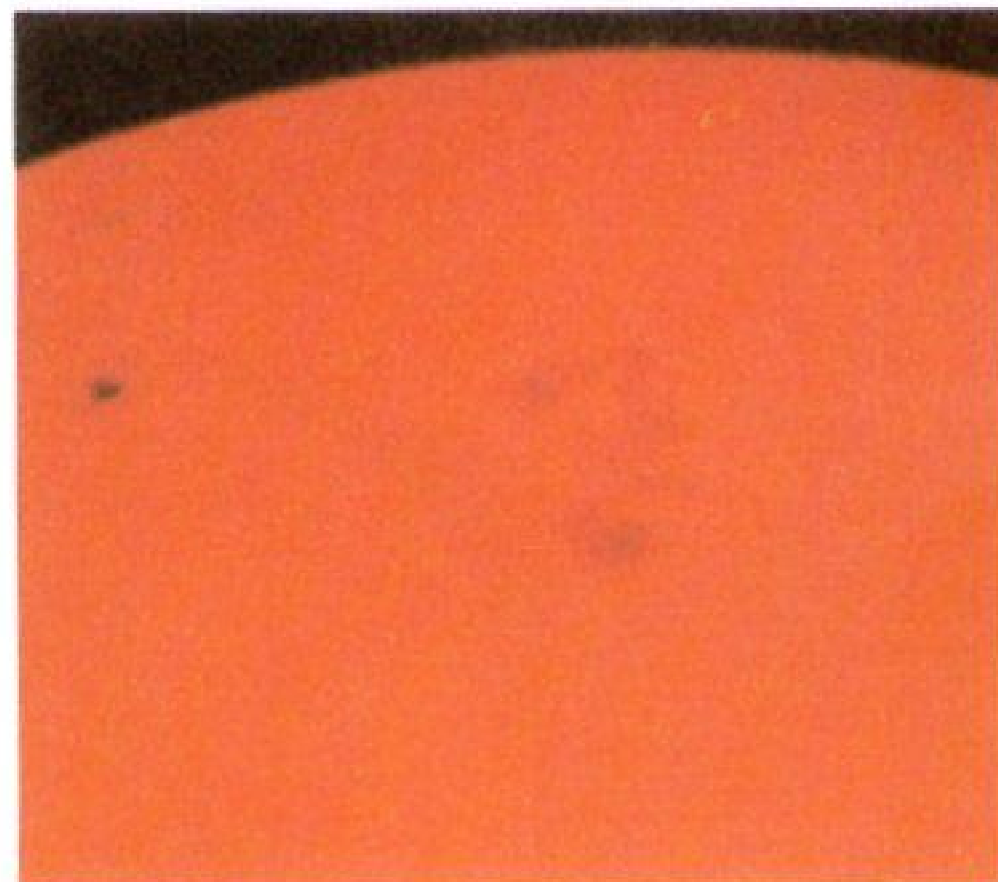
La brillante esfera candente que reconocemos como el Sol es una delgada capa de fotosfera al borde de la zona de convección. Su temperatura, unos 6.000 °C, es comparativamente baja. Está pues formada más por gas natural que por plasma ionizado. Se halla también en turbulencia continua, debido a las violentas corrientes de convección del gas que asciende en chorros. Esta convección define un tipo de superficie o supergranulación del Sol, visible en las fotografías telescópicas. En realidad es algo semejante, a escala gigantesca —pues las burbujas miden decenas de miles de millas—, a un puchero de almíbar hirviendo.

Entre la relativamente fría y neutra fotosfera y la corona —la inmensa atmósfera exterior del Sol— existe una delgada cromosfera, que actúa como zona de transición entre ambas. La enorme corona que se extiende más allá de la órbita terrestre como viento solar, paradójicamente está mucho más caliente que la fotosfera, alcanzando casi los 2.500.000 °C. La luz que emite la corona es mucho más tenue que la de la fotosfera, lo que significa que sólo puede observarse claramente cuando la Luna oculta la cegadora fotosfera.

Tanto la corona como las formas convectivas de supergranulación son rasgos permanentes de la estructura y la conducta del Sol. Otras características espasmódicas responden a menudo a un patrón rítmico

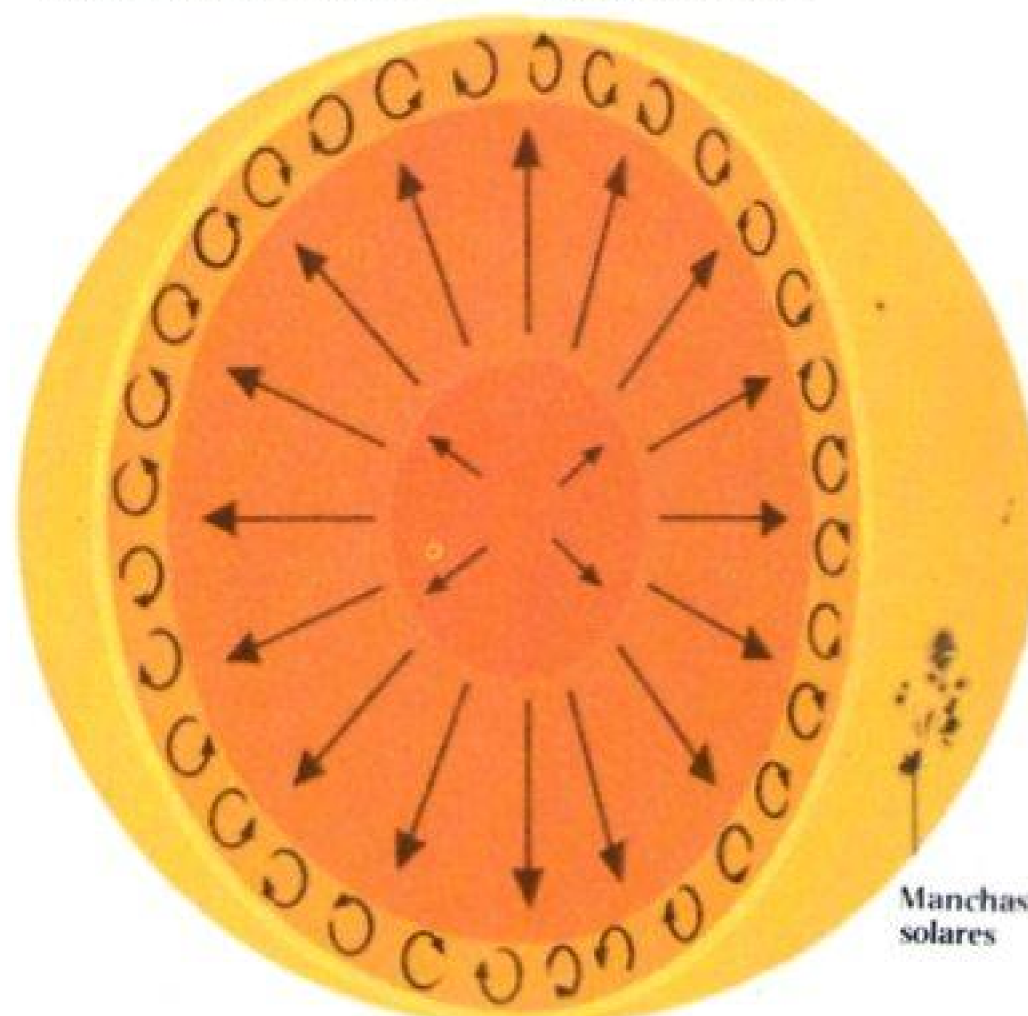


Cada 22 años los polos magnéticos solares se invierten dos veces, lo que establece un ritmo de once años en el ciclo de las manchas solares. El número de manchas observables aumenta y disminuye dentro del ciclo, indicando de este modo cuál es el grado de actividad solar.

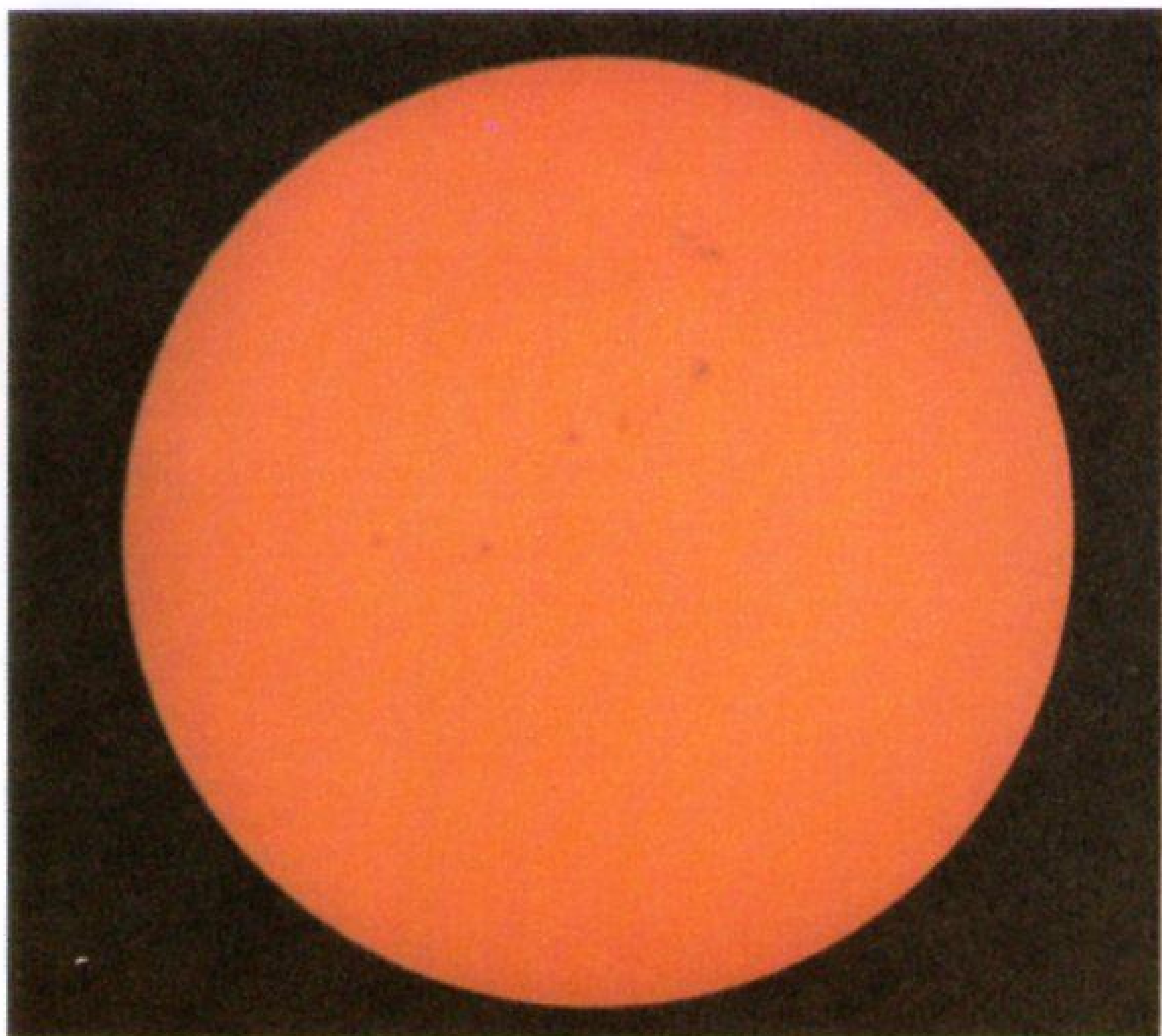


El descubrimiento de las manchas solares dio al traste con la idea de un Sol inmaculado. Se trata de zonas de gas, relativamente frías (4.000 °C). Normalmente miden unos 10.000 km., pero pueden llegar a los 150.000 km. Aparecen en pareja o en pequeños grupos y se mueven siguiendo la rotación del Sol unas pocas semanas; luego desaparecen. Su potente campo magnético sugiere que se trata del efecto visible de perturbaciones magnéticas en el interior del Sol.

El Sol está formado por cuatro estratos principales:
Fotosfera: superficie moteada, con manchas solares, a unos 6.000 °C.
Zona de convección: con un espesor de 100.000 km., se agita con movimientos violentos de la materia.
Zona de radiación: con un espesor de 400.000 km., a 5 millones de °C, va aumentando en densidad hacia el centro.
Núcleo de fusión: 12 veces más denso que el plomo, a 15 millones de °C, transforma el hidrógeno en helio, generando la energía solar.



La estructura interna y oculta del Sol sólo puede deducirse a través de cálculos complejos. Su centro es el núcleo de fusión (rojo); una zona de radiación (naranja) trasmite la energía a la zona de convección (ocre), desde la que se emite la energía que brilla en la fotosfera (amarillo), cuya luz y calor es lo que nos llega a la Tierra.



Gigantesca protuberancia de gas luminoso que se proyecta del Sol al espacio, *izquierda*. Cada gránulo es una celda de turbulencia ardiente, de 1.000 km. de ancho.

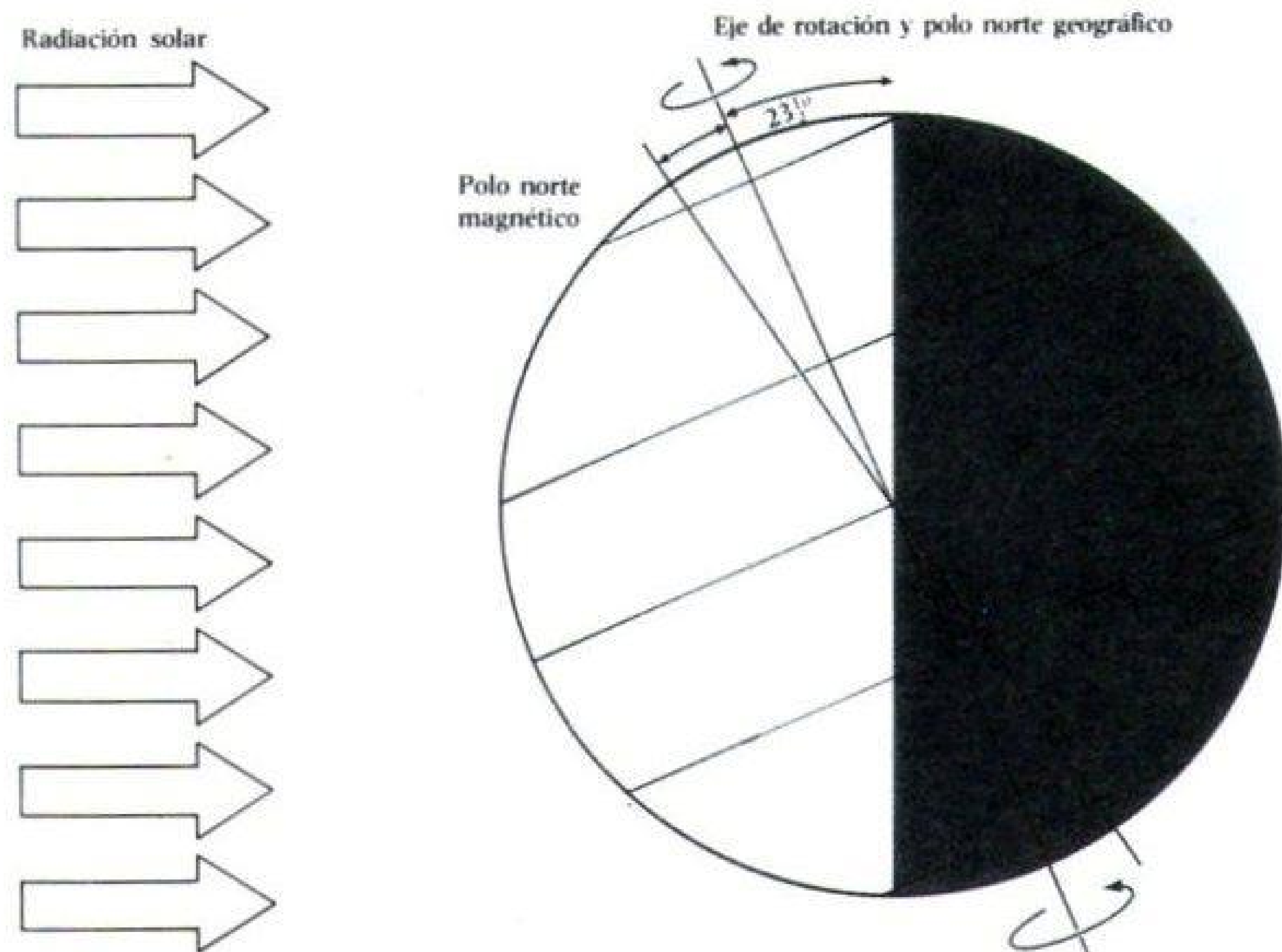
general subyacente, ligado en cierto modo a las propiedades magnéticas del Sol. Llamaradas y protuberancias gigantescas se proyectan desde la superficie del Sol, y hay manchas oscuras y frías que la surcan hasta desaparecer. El número de tales manchas aumenta y disminuye con notable regularidad; la periodicidad del ciclo, unos 11 años, se relaciona con el ciclo de 22 años en que se invierten los polos del Sol, recuperándose posteriormente la polaridad original.

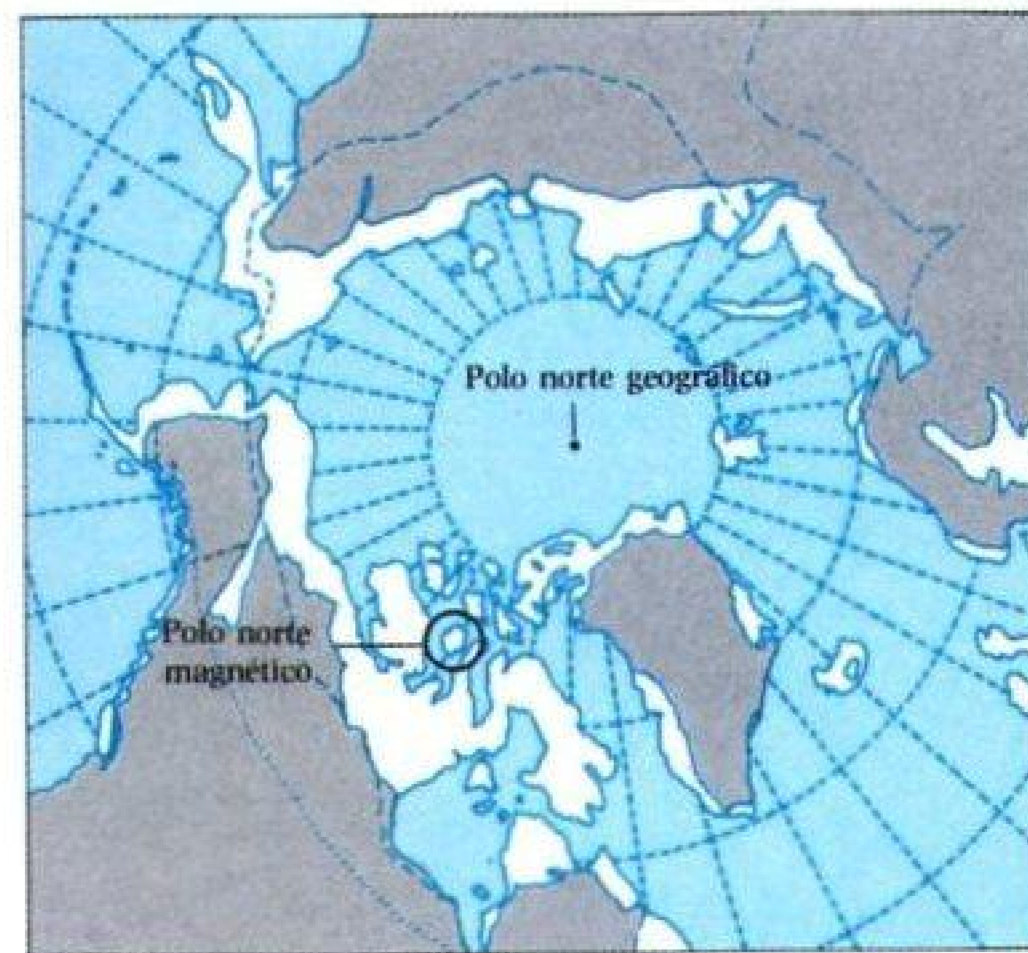
La conducta del planeta Tierra y de los organismos que lo habitan se halla íntimamente relacionada con la estructura y funcionamiento del Sol. La Tierra no es una pelota de roca inerte e inmutable, sobre la que millones de especies han imprimido la historia de la evolución de la vida, antes bien está en constante movimiento. Bajo la corteza terrestre la mayor parte de la masa nuclear del planeta se halla en estado líquido o semilíquido. En este fluido se elevan y descienden corrientes de convección lentas pero masivas, análogas a las inmensamente más potentes de la sustancia solar.

Incluso la delgada y sólida corteza que reviste la Tierra se parece más a un mar de témpanos en lento movimiento que a una plataforma de cemento. A embates continuos y pausados, las placas de la corteza se van deslizando unas sobre otras y se funden, lo que sólo se aprecia en millones de años. Los movimientos producen el fenómeno de la deriva de los continentes. En ocasiones provocan terremotos en los que se liberan de forma repentina y violenta, con movimientos espasmódicos de la corteza, las tensiones creadas durante años por el movimiento relativo de las placas (simples tirones a escala global que pueden arrasar ciudades). Las principales zonas sísmicas y volcánicas del mundo, donde ocurren terribles devastaciones, son las regiones de la Tierra en que las placas de la corteza entran en contacto.

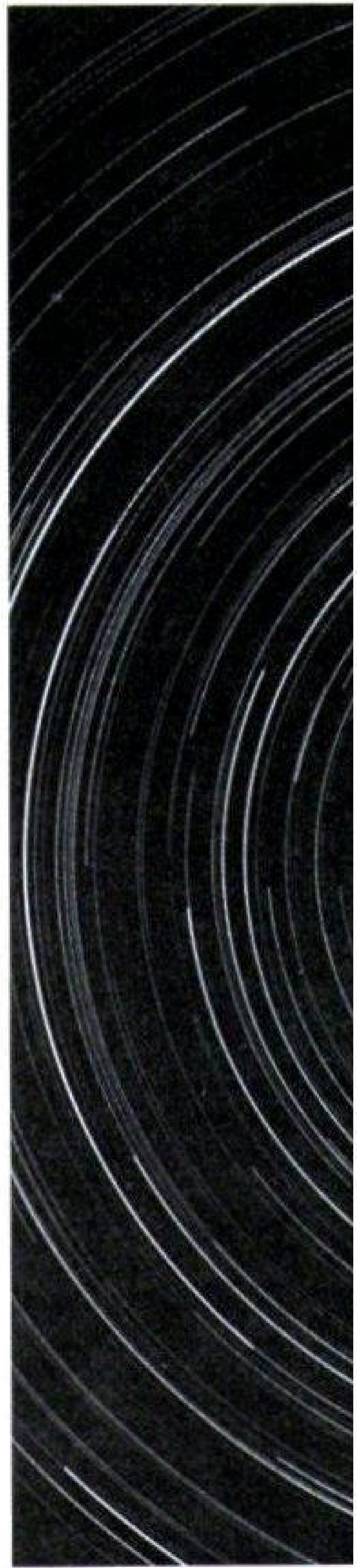
Para los seres vivos de la Tierra el esquema de movimiento planetario más importante es la rotación de la Tierra sobre su eje polar, la línea imaginaria que une los polos geográficos Norte y Sur. Este movimiento rotatorio genera el día y la noche para cualquier organismo que habite en un punto fijo de la superficie. La división estructural del tiempo, en un ciclo repetido de períodos de oscuridad y de luz, constituye el cambio ambiental rítmico más intenso al que se hallan expuestos los organismos terrestres. Todos los ritmos biológicos diarios que se han desarrollado tienen un período característico de unas 24 horas, en respuesta a este patrón de cambio dominante.

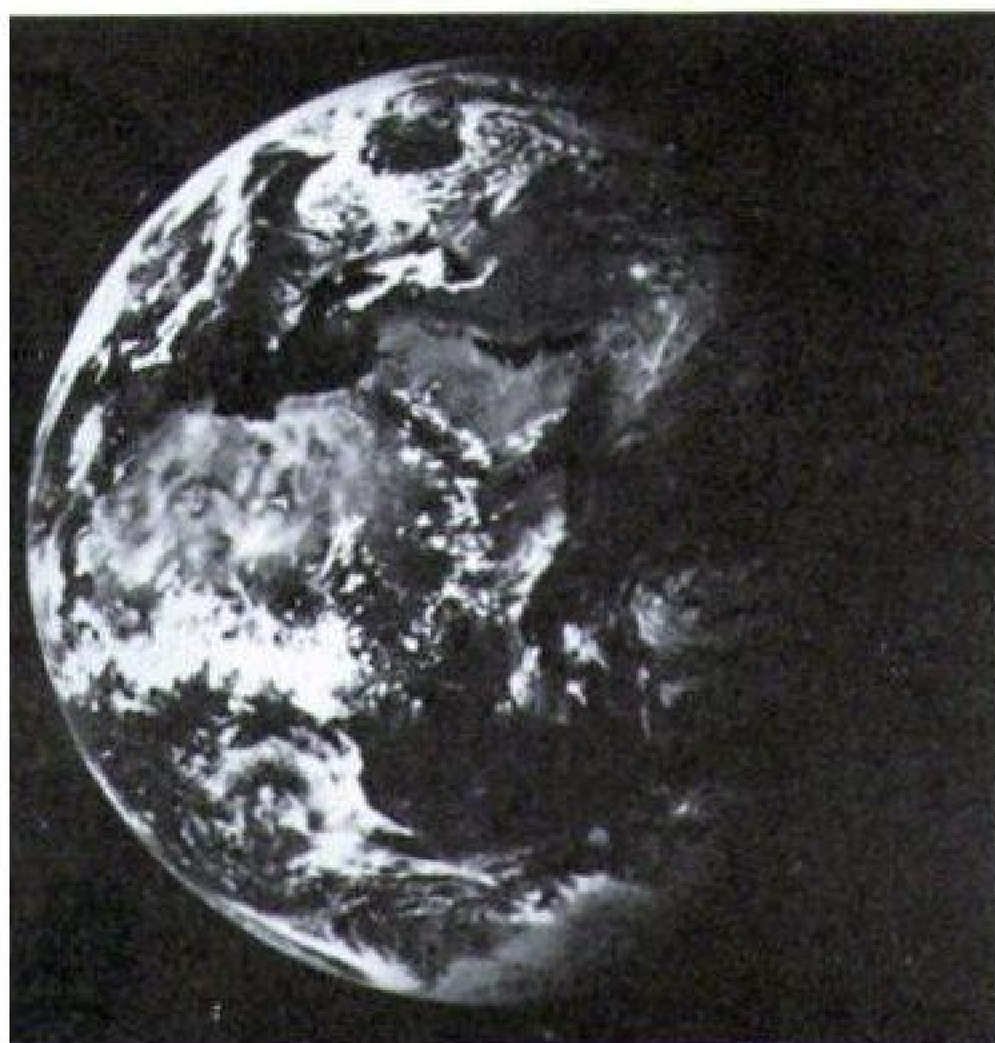
La distinción más obvia y llamativa entre el día y la noche estriba en la diferente intensidad de la luz. Pero la presencia en el cielo del Sol, fuente de energía, provoca muchos otros cambios de gran importancia para los seres vivos. Los principales son la temperatura ambiente y la humedad relativa, es decir, el grado de saturación de agua de la atmósfera. Luz, temperatura y humedad son todos determinantes potentísimos de la actividad biológica. Al amanecer y al atardecer, los cambios rápidos de intensidad de la luz proporcionan unas claves bien delimitadas, de las que se sirven muchos organismos para controlar el paso de los días. De día, la propia luz es una de las formas en que la energía de fusión del Sol incide sobre la vida de la Tierra. Los paquetes de energía luminosa del sol, fotones, que inciden sobre las plantas, son usados por éstas en el proceso de la fotosíntesis para crear moléculas orgánicas.





Posición actual de los polos norte geográfico y magnético. Todas las brújulas señalan al polo norte magnético, de localización variable en el tiempo geológico.





Cada 24 h, la Tierra gira sobre su eje de rotación, originando el ritmo del día y la noche. A mediados de verano en el hemisferio norte, el eje de rotación se inclina 23'5° en dirección a los rayos solares, *arriba*. Este eje va desde el polo norte hasta el polo sur geográfico. El eje magnético forma un pequeño ángulo con el eje de rotación y gira en torno a él. Los satélites y los vehículos espaciales han permitido en los últimos 20 años fotografiar la Tierra entera. La toma de la izquierda se realizó durante la misión del Apolo II.



La rotación de la Tierra se desacelera gradualmente: hace 400 millones de años el día solar duraba unas 22 h. 4 min. Esto lo ratifican ciertas partes de fósiles de coral de mediados del devónico, *izquierda*. El crecimiento de los corales variaba con los ciclos diarios y los de las mareas, originando bandas y estrías que corresponden a tales períodos. El esquema de las bandas sugiere que, en el devónico, el mes lunar duraba 30,8 días, en vez de 29,5 como ahora.

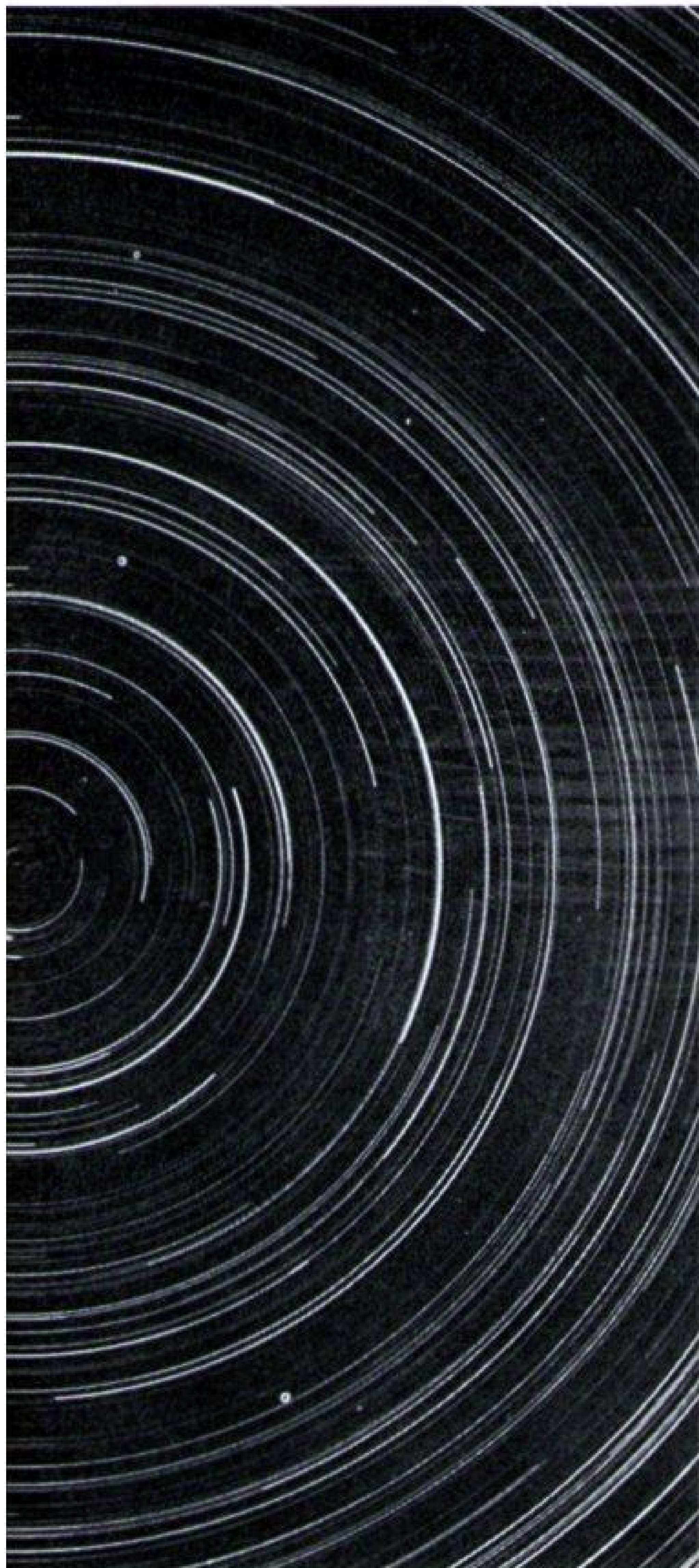
Los cambios de temperatura ligados al ciclo del día y la noche imponen grandes limitaciones a todos los animales, plantas y microorganismos. Todos los procesos bioquímicos propios de la vida dependen de la temperatura; resultan acelerados por un aumento de la misma y retrasados por un descenso. Incluso un animal pequeño y de sangre caliente, un mamífero o un pájaro capaz de mantener una temperatura corporal interna alta y constante, independientemente de los cambios ambientales, debe tomar en cuenta las alteraciones de temperatura producidas por el día y la noche. A mayores desviaciones de la temperatura con respecto al nivel óptimo, 37 °C para el hombre, 42 °C para un pato, mayor esfuerzo ha de realizar el metabolismo del animal para mantener una estabilidad térmica interna.

Las variaciones de la humedad revisten una especial importancia para una amplia gama de invertebrados y anfibios, como la rana, el tritón y el sapo. Las temperaturas elevadas y el aire seco —condiciones diurnas típicas— incrementan la evaporación de agua de la superficie corporal; muchos de estos animales se ven pues obligados a adoptar hábitos nocturnos, dado que el ambiente más fresco y la mayor humedad del aire facilitan su actividad, sin excesiva pérdida de agua.

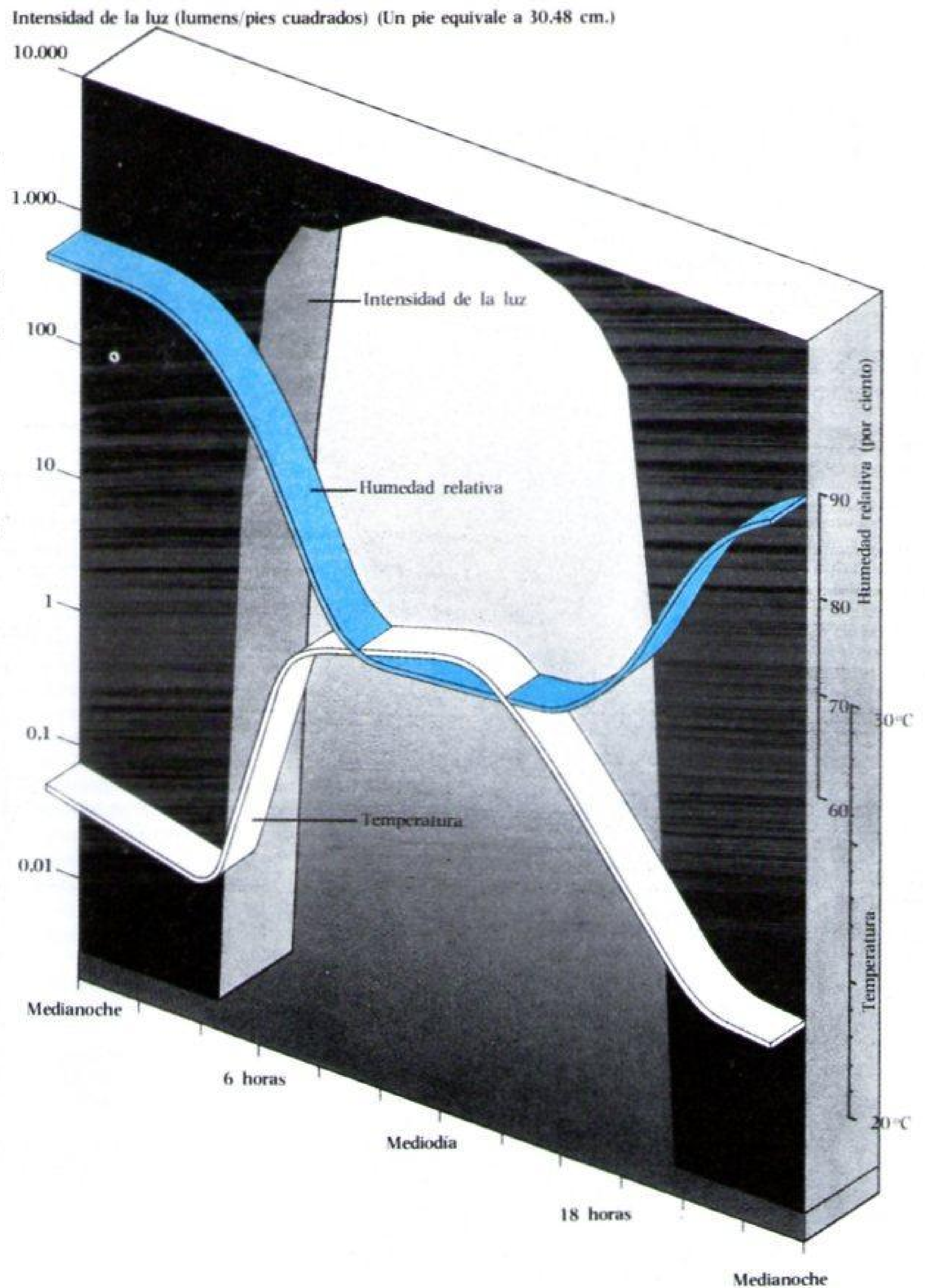
Los cambios físicos labrados por la sucesión de días y noches producen un entorno con un esquema temporal que animales y plantas sólo pueden ignorar con grandes riesgos. Las alteraciones, de día y de noche, del carácter de determinado hábitat son tan llamativas que todo organismo ha de elegir estratégicamente sus tácticas de vida con relación a tales fluctuaciones. Uno de los rasgos básicos del estilo de vida de cualquier animal es pues su patrón de actividad a lo largo de 24 horas. El describir a un animal como nocturno, diurno o crepuscular (activo al atardecer o al amanecer) implica algunas definiciones básicas respecto al modo de vida de éste.

Para ordenar sus vidas de acuerdo con el período de rotación de su planeta madre, los organismos han desarrollado relojes cuyas manecillas pueden reajustarse con claves externas. El más poderoso es el reloj circadiano. En la práctica puede admitirse que este período dure 24 horas, pero lo mismo que todos los fenómenos naturales a gran escala, está sujeto a variaciones tanto a largo como a corto plazo. Si se mide con referencia a una estrella, el período de rotación de la Tierra es de poco más de 23 horas 56 minutos, valor que se describe como día sideral. El día solar —el lapso de un cenit a otro observado por alguien quieto en un punto de la Tierra— dura una media de algo menos de 24 h. 4 min., pero en cualquier caso fluctúa no más de 16 min. al año. A estas variaciones a gran escala, previsibles, se superpone una amplia gama de perturbaciones menores, causadas por redistribuciones de masa de sólidos, líquidos y gases atmosféricos de la Tierra.

Quizá los cambios más fascinantes sean los que se dan a largo plazo. Los análisis de datos antiguos obligan a concluir que la rotación de la Tierra va siendo más lenta. Dejando aparte los cambios a corto plazo, nuestros días se alargan aproximadamente una milésima de segundo cada siglo. Si se aplica este descubrimiento al pasado, en el devónico, hace 400 millones de años, el día habría durado sólo 22 horas, y cada año habría tenido 400 días. Especulaciones aparentemente tan fantásticas como ésta se justifican por los anillos de crecimiento visibles en algunos fósiles.



El eje de rotación de la Tierra suele pensarse que apunta a la estrella polar. Esto no es exacto, pues en realidad el polo norte señala un punto del campo estelar en torno a la Polaris. A la izquierda se muestra una prueba de la rotación terrestre, una foto con una exposición de ocho horas tomada con un telescopio fijo. Cada estrella ha trazado la tercera parte de un círculo. El arco más brillante, próximo al centro, muestra el movimiento de la Polaris. Durante los próximos miles de años el eje de rotación se desviará, y pasados unos 21.000 años volverá a señalar a la Polaris.



Tres importantes variables ambientales presentan cambios llamativos de acuerdo con el ciclo del día y la noche. A la derecha se muestran los cambios de intensidad de la luz, humedad y temperatura durante un período de 24 h., en un punto de la superficie terrestre. Las mediciones se hicieron en un lugar templado de latitud media, donde el día duraba unas 15 h. La intensidad de la luz cambia bruscamente del día a la noche. A medida que la temperatura aumenta lentamente, la humedad disminuye y viceversa.

En la mayor parte del planeta, las condiciones cambian anualmente con el paso de las estaciones. Muchas de las variaciones estacionales que se producen de año en año tienen origen en la compleja interacción entre la exacta orientación del eje de rotación de la Tierra y el plano de la órbita terrestre en torno al Sol. También se piensa que el cambio de orientación del eje de rotación, en plazos larguísimos, puede implicar cambios climáticos lentos que afecten a toda la Tierra.

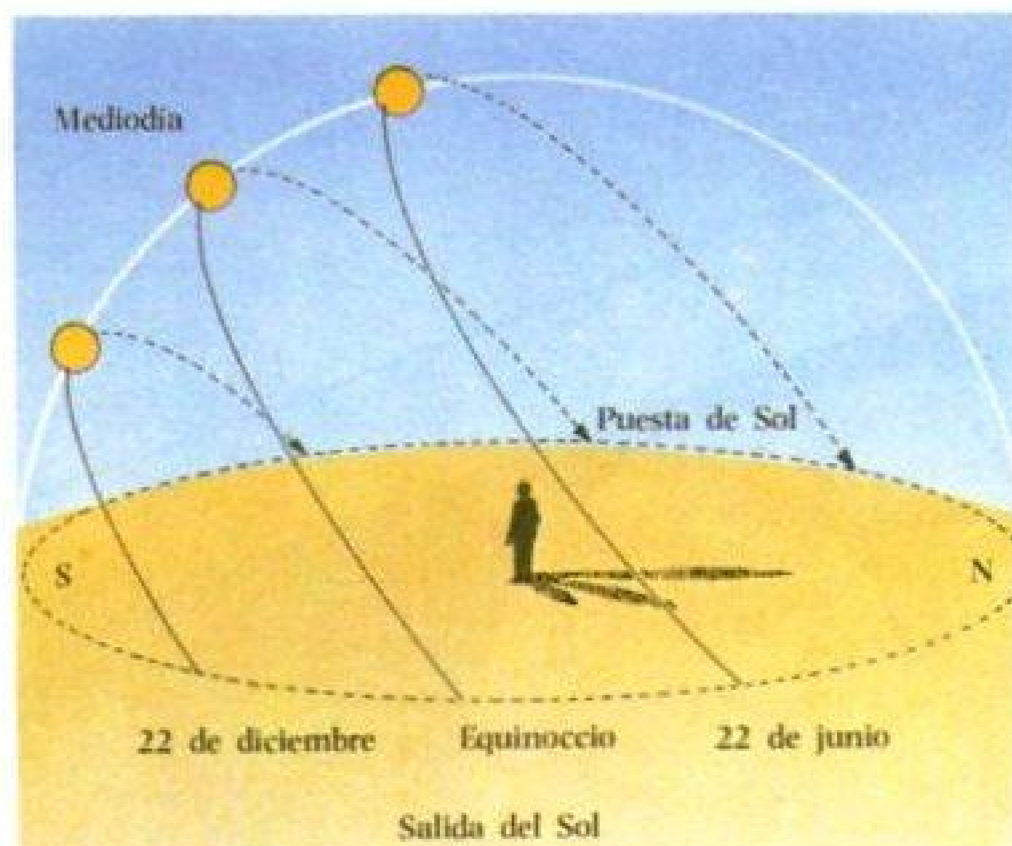
Si tal eje y el plano de la órbita terrestre en torno al Sol formaran un ángulo recto, el mundo resultaría irreconocible. En todas partes, menos en zonas excepcionales en torno a los polos, el día y la noche durarían sin excepción 12 horas cada uno, y no habría estaciones propiamente dichas. Resulta difícil captar la importancia del eje de rotación de la Tierra en lo que a las estaciones se refiere. La mayoría de la gente, incluso los que cuentan con alguna preparación científica, responderán a nuestras preguntas sobre el por qué del calor en verano y del frío en invierno con un amasijo de conceptos mal asimilados. Quizá sea que el Sol está más lejos de la Tierra en invierno, quizá los casquetes polares tengan algo que ver. ¿O se trata de la altura del Sol al mediodía?

Ciertamente, la distancia entre la Tierra y el Sol varía según las estaciones, aunque esto apenas tenga que ver con las diferencias entre ellas. Lo que sí tiene que ver, y mucho, con el tema de las estaciones es que el eje de rotación de la Tierra no forma ángulo recto con la órbita planetaria, sino que está inclinado unos 23,5°. Con estabilidad giroscópica, el eje apunta desde siglos a un punto concreto entre las estrellas que rodean a la Polar. Así, durante medio año el Polo Norte señala oblicuamente al Sol y durante el otro medio lo hace el Polo Sur.

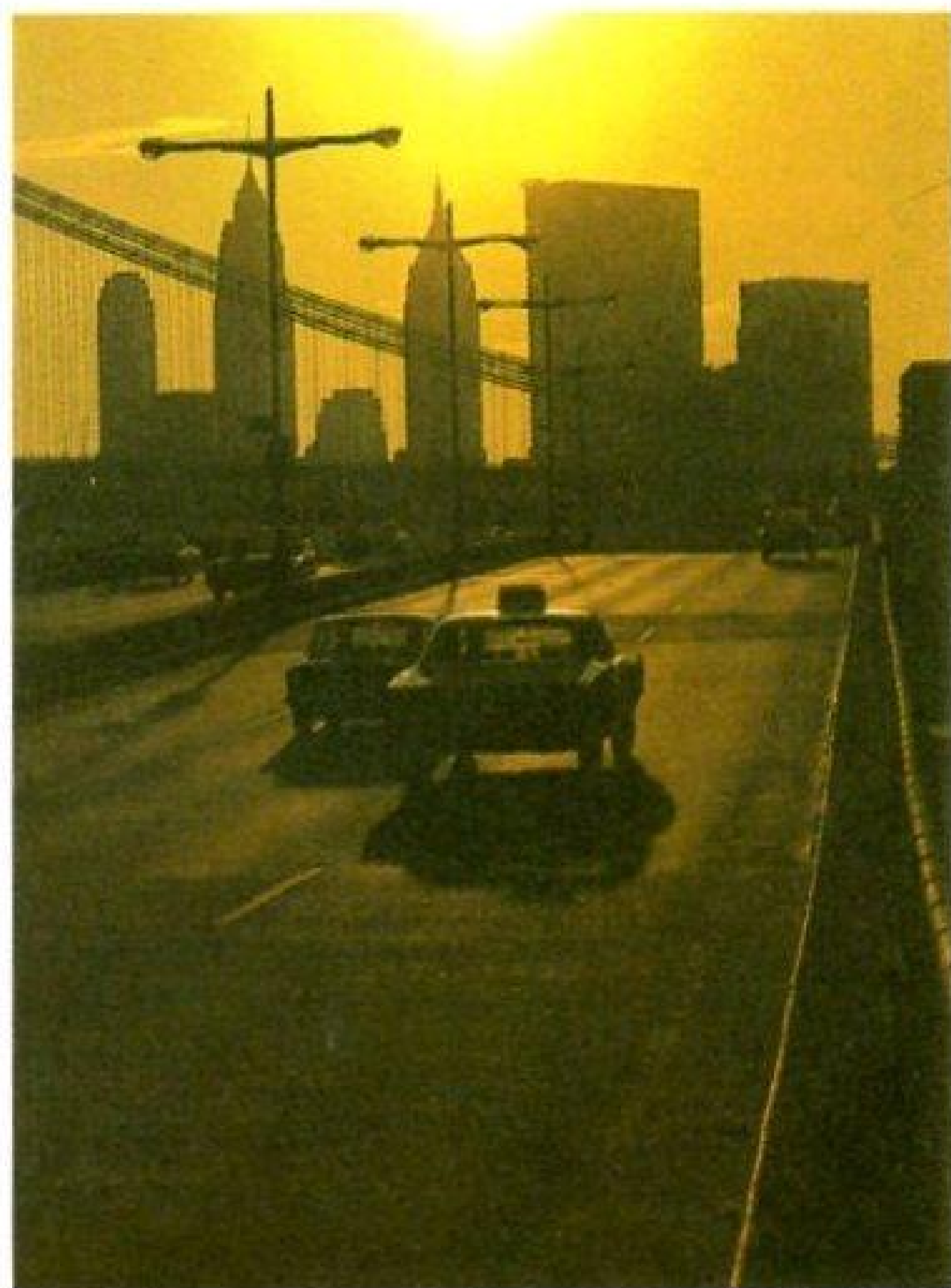
La inclinación del eje de rotación de la Tierra divide al mundo en zonas climáticas, definidas según el movimiento aparente del Sol en cada una de ellas. Arriba y abajo de la Tierra las zonas glaciales abarcan desde los Polos hasta los 23,5° de latitud. En dichas zonas, al menos una vez al año, la noche dura 24 horas y, en consecuencia, el sol luce otro día entero por lo menos. Aquí, en el reino del frío, se dan fabulosos extremos de temperatura y la máxima variación posible en la duración del día y de la noche. Los trópicos de Cáncer y Capricornio, ambos a 23,5° del Ecuador, delimitan la zona tórrida, o zona tropical, que rodea el centro de la Tierra. Aquí el Sol cae de plano al mediodía al menos una vez al año y, a lo largo de los 12 meses, la duración de los días apenas se desvía de las 12 horas. En el resto de la Tierra —las zonas templadas— el Sol nunca permanece en el cielo 24 horas, y nunca cae de plano.

La altura del Sol al mediodía, su declinación en lenguaje técnico, que varía según las estaciones, es producto de la interacción de la orientación fija del eje inclinado y de la órbita gravitatoria de la Tierra. En el solsticio de verano, 22 de junio, el Sol se halla en su cenit, esto es, cae de plano al mediodía sobre los lugares a 23,5° latitud norte. En cualquier punto del hemisferio norte éste es el día más largo, y el Sol se ve más alto que nunca. El 22 de diciembre, solsticio de invierno, supone precisamente lo contrario en el hemisferio norte; el Sol está en su punto más bajo, y el día es el más corto. En la zona que abarca hasta los 23,5° norte, el solsticio de invierno tiene lugar en medio de un período de noche perpetua. A la inversa, en el hemisferio sur el 22 de junio es el día más corto y el 22 de diciembre el más largo.

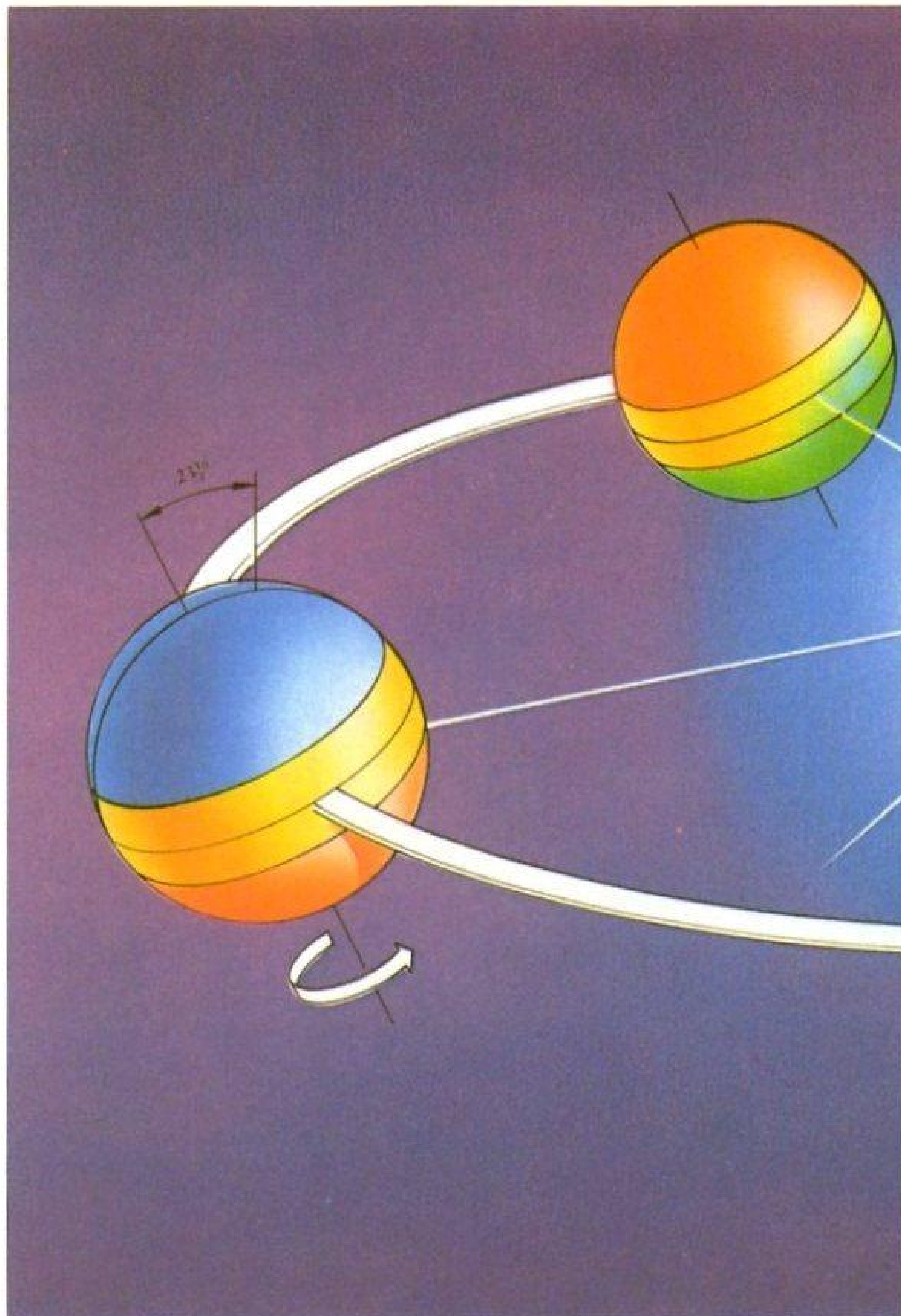
Los 23,5° de inclinación del eje de rotación de la Tierra son pues



La altura del Sol al mediodía varía según las estaciones. Para un observador situado a latitud media en el hemisferio norte, *izquierda*, el Sol, alto o bajo, queda siempre hacia el sur. El 22 de diciembre el sol está justo encima del Trópico de Capricornio: el observador, cuya sombra sería más larga que nunca, lo vería en el punto más bajo. El 22 de junio el sol está justo encima del Trópico de Cáncer, en el punto más alto para el observador cuya sombra es corta.



En invierno, el Sol nunca está muy alto en el cielo, como en esta foto de una tarde en Nueva York. La Tierra tarda 365 1/4 en dar una vuelta al sol, *derecha*. El plano de esta órbita se llama la eclíptica, porque sólo cuando la Tierra y la Luna están alineadas sobre este plano se producen los eclipses. El eje de rotación de la Tierra está siempre desviado 23,5° con respecto a la perpendicular de la eclíptica. La oscilación de aproximación y alejamiento respecto al Sol genera el ritmo de las estaciones; la primera implica días más largos y mayor número de horas de Sol, la segunda lo contrario. Si la Tierra fuera absolutamente perpendicular a la eclíptica, el año tendría una sola estación.

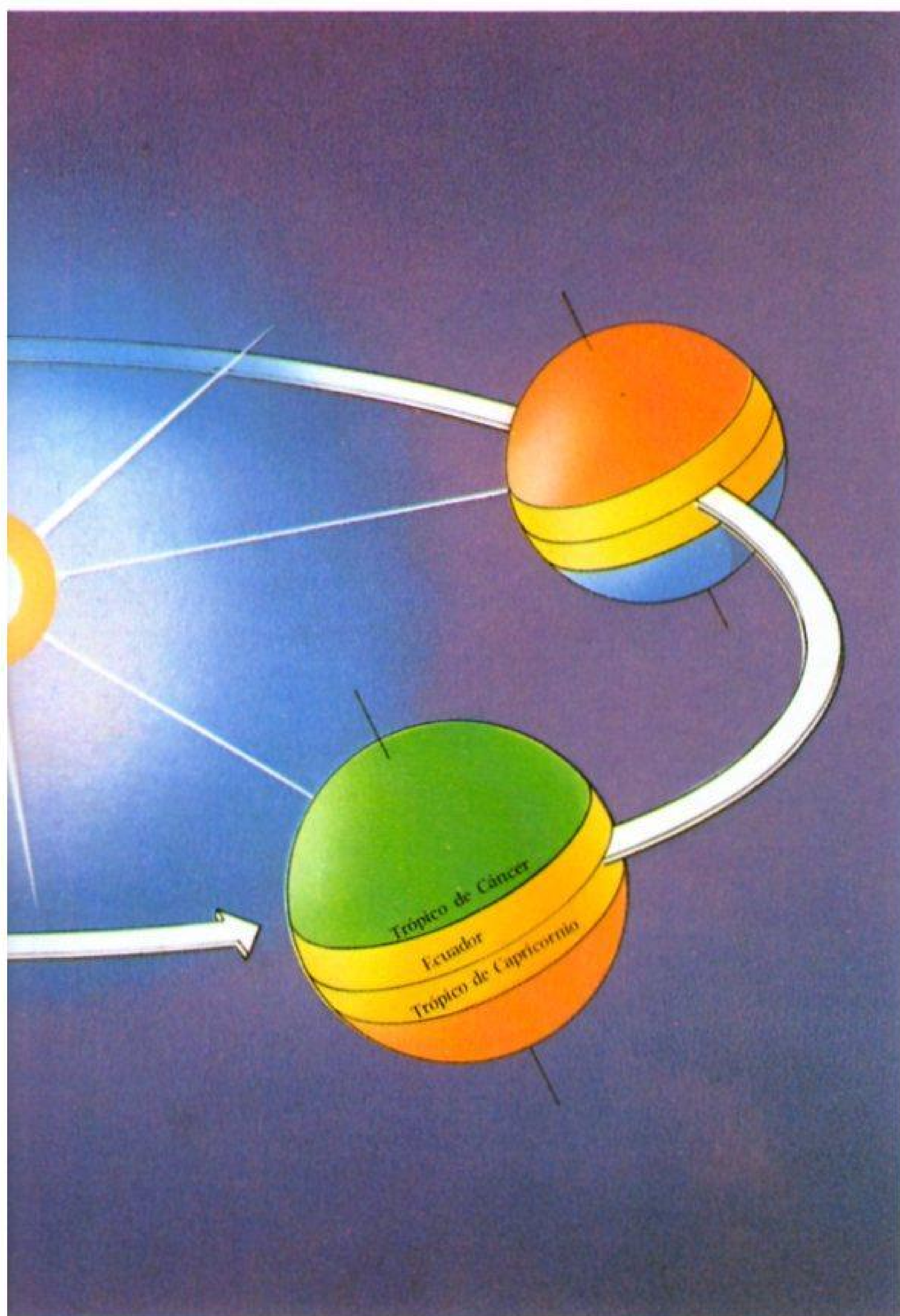


causa directa de la duración variable de los días a lo largo del año y, al mismo tiempo, de los cambios de altura del sol al mediodía. Tales fluctuaciones, a la vez cíclicas y rítmicas, proporcionan a las criaturas una indicación directa de la posición de la Tierra dentro de su órbita solar. Sin embargo, donde el paso de las estaciones se deja sentir con mayor claridad es en la duración de los días. El 22 de diciembre, a 60° norte, el Sol permanece cerca de ocho horas en el cielo. Cuando esto ocurre ha de ser pues el 22 de diciembre. Ni las claves ambientales de la temperatura, la lluvia, la humedad, ni la fuerza del viento, pueden aportar a los organismos la misma información, aunque para captarla es necesario que el ser en cuestión tenga un sentido preciso del tiempo, una especie de reloj interno con el que medir los acontecimientos exteriores. La duración variable de los días y la altitud del Sol generan además el patrón global de cambios climáticos típicos de las estaciones. Todo clima es determinado por el Sol; en última instancia, se trata sólo de los efectos del calor solar y del movimiento en torno al globo de los gases atmosféricos —incluyendo el vapor de agua—, aunque estos movimientos sean a veces increíblemente complejos, y el vapor de agua se condense en diminutas gotitas como de aerosol (niebla), en gotas grandes (lluvia) o en cristales de hielo (nieve). Pero el que la Tierra intercepte la radiación solar es lo que activa los movimientos y el proceso de calentamiento. El verano es caliente en el hemisferio norte porque la Tierra está expuesta al Sol más horas al día. Por su parte, el Sol se halla en el punto más alto, cae sobre la superficie en un ángulo menos oblicuo; por tanto, hay una mayor concentración de energía de los rayos por unidad de terreno que cuando el Sol cae más oblicuo.

A pesar de la importancia del flujo de energía procedente del Sol para determinar las estaciones, la distancia entre la Tierra y el Sol no es algo que afecte de forma crucial a las condiciones atmosféricas. Aunque la Tierra describe una órbita elíptica en torno al Sol, éste no se halla en el centro mismo de la órbita, sino un poco desplazado, situado en uno de los dos focos. La Tierra está a una media de 149.589.000 km. del Sol, pero la distancia real varía de forma cíclica a lo largo del año. Sin embargo, no es a mediados de verano en el hemisferio norte cuando la Tierra está lo más cerca del Sol, su perihelio, sino a principios de enero. En ese momento la distancia disminuye sólo en un 1,7 por 100 con respecto a la media, resultando por tanto insignificante cualquier aumento del poder de calefacción solar.

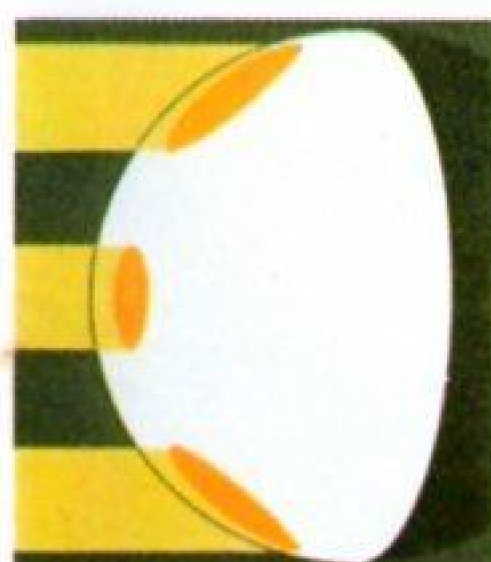
Durante el decurso de las estaciones, producido por la rotación de la Tierra alrededor de su eje inclinado, los animales y las plantas pueden valerse de la duración de los días para juzgar con considerable precisión en qué época del año se encuentran. Tal información les es necesaria a los organismos para estructurar a largo plazo sus actividades de manera eficaz, pues para lograr un rendimiento óptimo éstas no sólo han de ajustarse a la periodicidad de 24 h. del día y la noche, sino también al cambio de las estaciones.

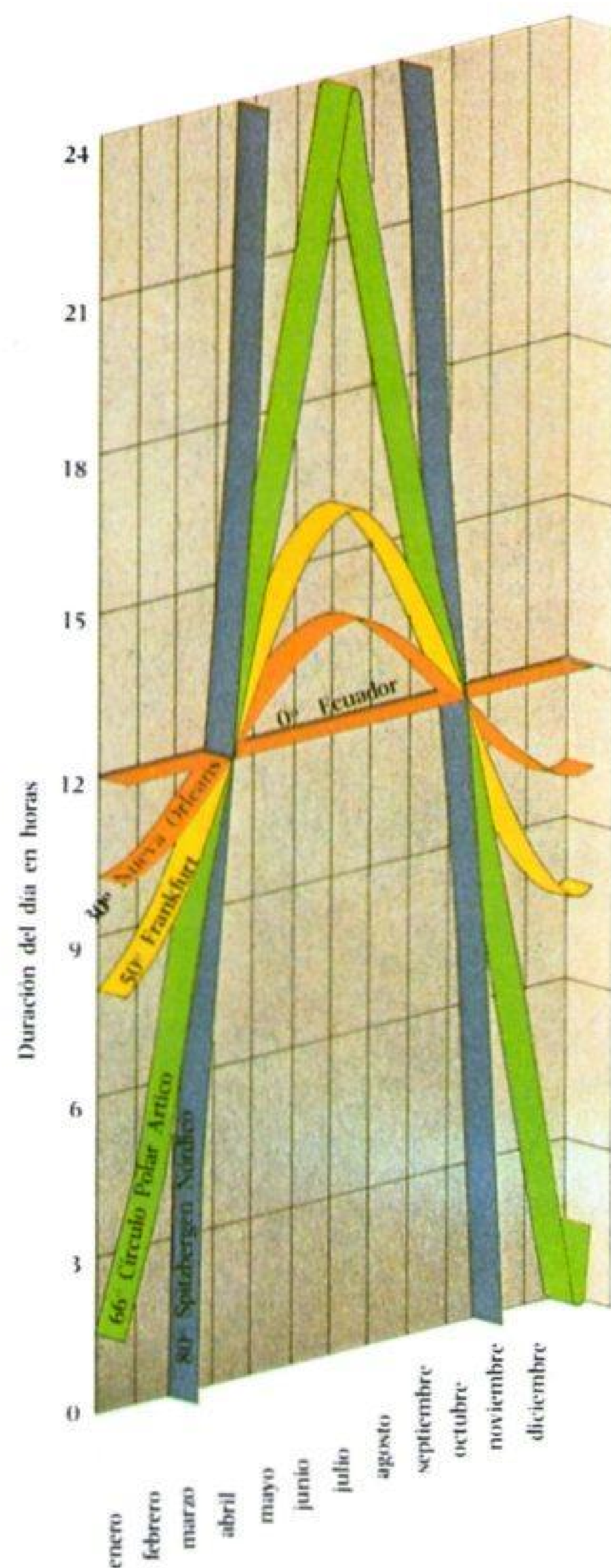
La mayor parte de los cambios ambientales producidos por las estaciones son mucho más espectaculares que el de la duración variable de días y noches. La diferencia de temperatura entre dos estaciones puede ser hasta 50 °C; la lluvia puede estar ausente de una y superar los 2,5 cm^3. diarios en la siguiente. Este tipo de cambio ambiental del hábitat físico provoca alteraciones secundarias del medio, respondiendo



Primavera
Verano
Otoño
Invierno
Trópicos

La duración del día cambia a lo largo del año dentro de un patrón específico para cada latitud, norte o sur. Esta es la señal más previsible del paso de las estaciones para los animales y las plantas. En el Ecuador el día dura siempre 12 horas. En el resto del mundo se da una variación estacional: un día de determinado mes dura siempre lo mismo. La curvatura de la Tierra, *abajo*, implica que la densidad de la radiación solar será mayor en el Ecuador que en latitudes más altas.





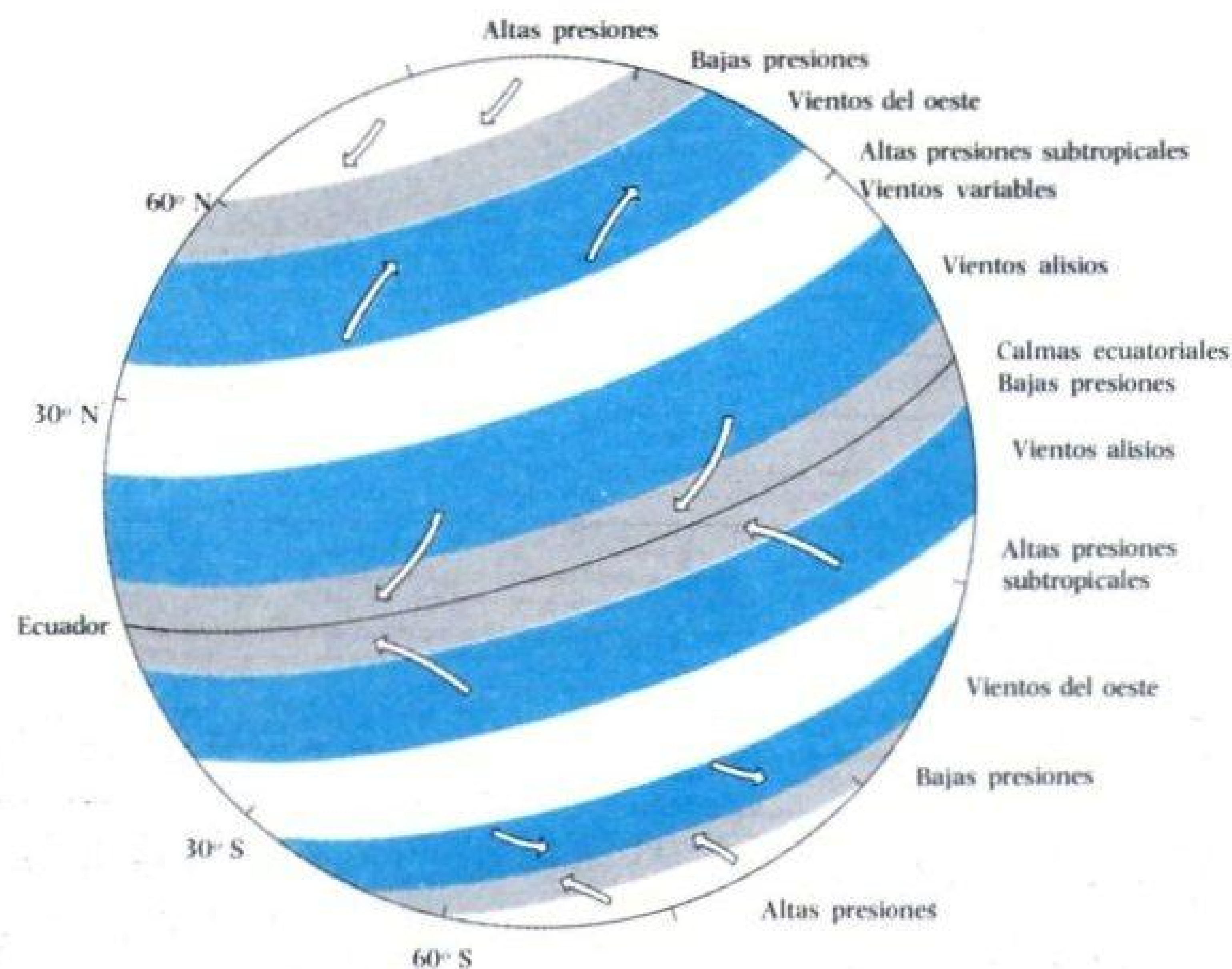
tanto los animales como las plantas a los cambios climáticos. Las plantas juegan un papel clave en la estructuración de las comunidades animales, determinando a la vez su forma de responder a las estaciones, porque ellas son en la mayoría de los ecosistemas (unidades ecológicas en que se divide todo medio) las fuentes primarias de elementos nutritivos de los que, en definitiva, dependen todas las otras criaturas. Así, en muchas regiones de la sabana tropical seca, los cambios anuales se reducen a un ciclo de estaciones calientes y secas, que alternan con otras calientes y húmedas. En tal hábitat algunas de las respuestas animales a las estaciones son activadas por un mecanismo interno, o por influencia directa de la humedad variable, pero gran parte de su patrón de vida anual se halla ligado a la respuesta inmediata y poderosa de las plantas del medio a la llegada de las lluvias. El rápido comienzo del crecimiento de la hierba sobre el suelo recién mojado no sólo transforma el paisaje espectacularmente, sino que produce, de la noche a la mañana, gran cantidad de reservas alimenticias para los herbívoros, y, a corto plazo, también para los carnívoros que de ellos se alimentan. El celo y las migraciones de los insectos, mamíferos y pájaros están inextricablemente ligados a los cambios de vegetación ocasionados por la lluvia.

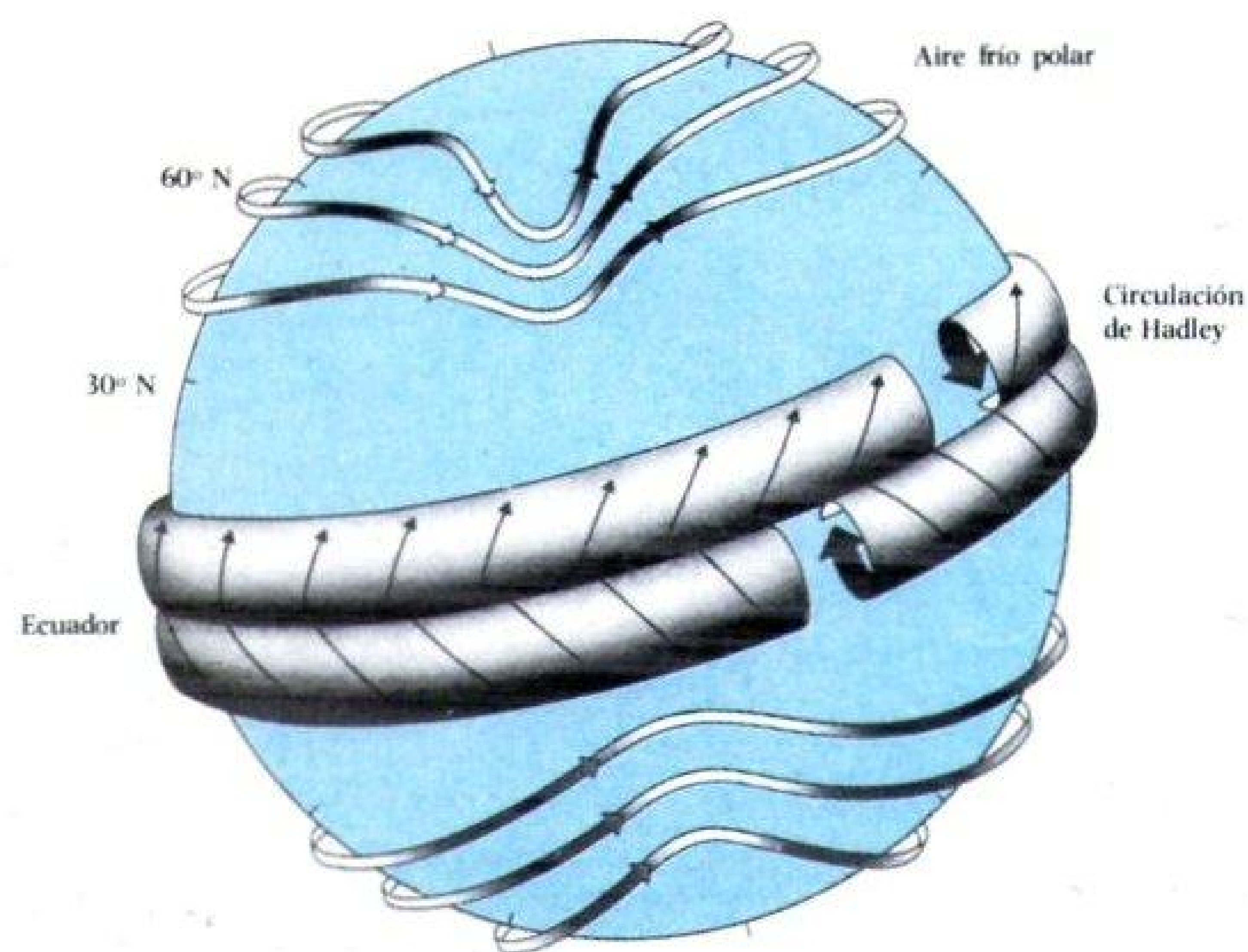
En el mundo hay docenas de tipos diferentes de paisaje, cada uno con una vegetación y un clima característicos. De éstos sólo unos pocos no muestran estaciones bien diferenciadas; tales zonas incluyen las áridas zonas desérticas cerca del Ecuador, y en el otro extremo algunas partes del bosque tropical, permanentemente húmedas y calientes. En el resto del mundo, microorganismos, animales y plantas perciben el carácter cíclico del año, como un patrón simple o complejo de cambios estacionales y climáticos.

Algunas de las muchas influencias que configuran el clima terrestre son tan antiguas como la misma Tierra: por ejemplo, el efecto de la distancia exacta con respecto al Sol sobre nuestra constitución atmosférica. Esta distancia, junto con la mezcla de gases de la atmósfera, juega también un importante papel en la determinación de la temperatura media de la superficie terrestre. Las condiciones atmosféricas y una temperatura global de superficie baja son, de alguna forma, sólo las más elementales reglas del juego del clima que afectan a la vida de los organismos de nuestro mundo. Después de más de un siglo de registros cuidadosos del tiempo en muchas partes del mundo, con barcos y satélites meteorológicos surcando cielos y océanos, y con las mayores computadoras a nuestra disposición, hemos de concluir que existen todavía en el juego del clima muchas leyes sutiles que no comprendemos.

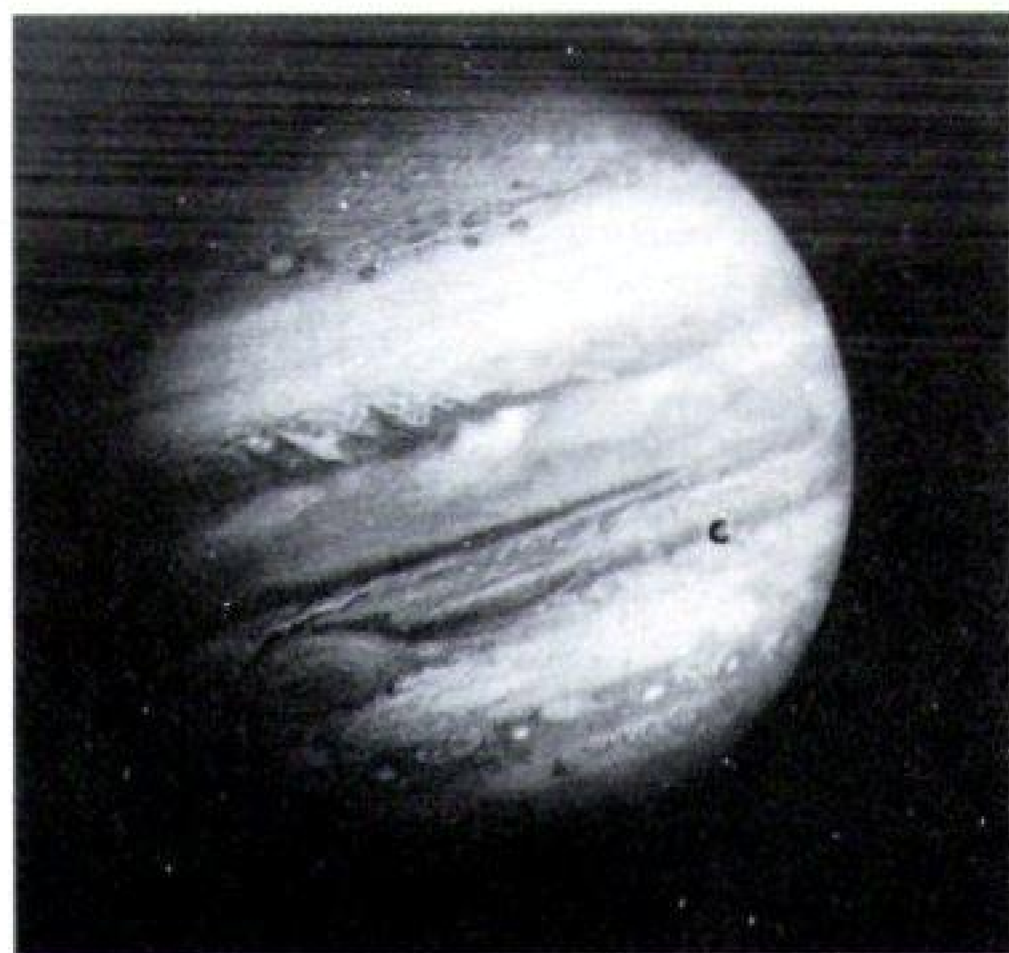
A menudo se describe el clima de nuestro planeta como una enorme máquina: un motor de calefacción cuyas unidades de trabajo fueran la atmósfera, los océanos, los mares, los lagos y los ríos. Para la mayoría de nosotros, la imagen de un motor incluye ruedas, engranajes, poleas, ejes, todo ello en movimiento armónico. Tal imagen no resulta inadecuada porque, a pesar de toda su complejidad jerárquica, el tiempo atmosférico consiste en una gran cantidad de fenómenos cíclicos que se superponen.

El motor de calentamiento climático de la Tierra es alimentado por el Sol. La energía irradiada desde la fotosfera de nuestra estrella particular llega a la Tierra continuamente. Esta energía traba contacto





La atmósfera de la Tierra presenta bandas latitudinales, cada una con una dirección predominante de los vientos. La expedición de la NASA a Júpiter y a Saturno confirmó que ellas no eran exclusivas de la Tierra. Fotografías como esta sorprendente vista de Júpiter muestran que tales patrones resultan de la interacción de la atmósfera de un planeta esférico en rotación con la energía solar. Fenómenos como la Gran Mancha Roja de Júpiter tienen algunos equivalentes en la atmósfera terrestre.



El aire caliente del Ecuador se eleva y se mueve hacia el norte o el sur, y se aproxima de nuevo al suelo, produciendo los vientos alisios. Esta circulación de Hadley subyace a las variaciones transitorias del tiempo. Se combina con el aire polar frío y origina los fuertes vientos del oeste, que giran en torno al globo. En el hemisferio norte esta interacción crea también un viento muy veloz, llamado corriente en chorro. Los cirros, *derecha*, indican la trayectoria de una corriente en chorro de gran altura.

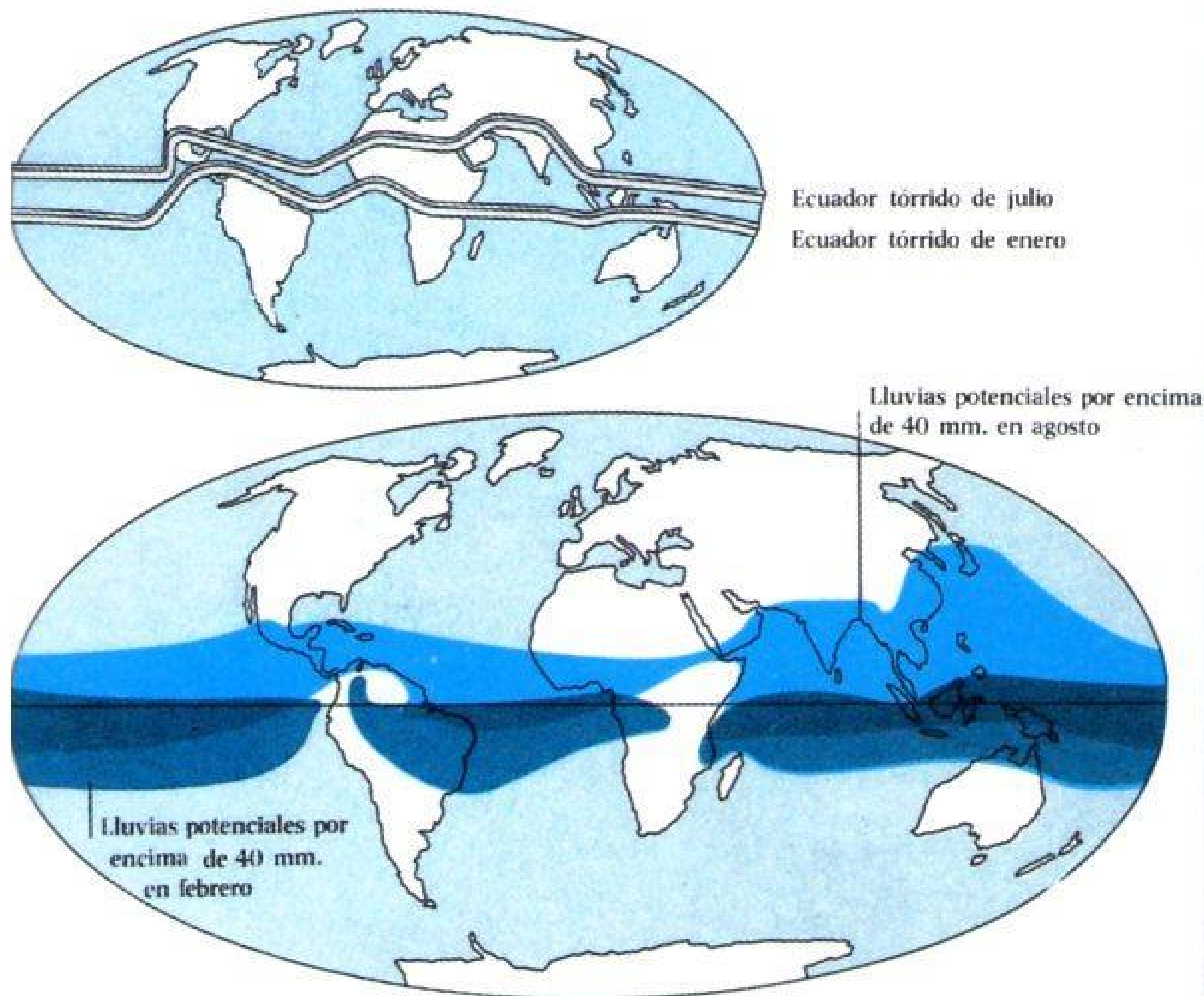


primero con las zonas exteriores más tenues de la atmósfera, luego con los estratos inferiores más densos de la envoltura gaseosa, y por último alcanza la Tierra misma. A través de la atmósfera y ya en la superficie, la transferencia de energía se produce por radiación, conducción y convección. Pero como el principal método de transferencia es la radiación, la atmósfera apenas se calienta con el paso de la energía solar de onda corta que llega hasta la superficie terrestre. La propia Tierra —o por lo menos sus capas exteriores— absorbe la radiación que han atravesado los gases atmosféricos, se calienta e irradia a su vez gran parte de la energía del calor, como radiación de calor de onda larga. Al contrario que con los rayos de onda corta, la atmósfera absorbe las radiaciones de calor de onda larga. Ello implica que las zonas inferiores de la atmósfera, hasta altitudes muy por encima del Everest, 8.848 m., se calientan de abajo arriba, más que directamente desde el Sol, lo que explica por qué la cima del Everest está siempre cubierta de hielo, mientras que las estribaciones del Himalaya tienen un clima semitropical.

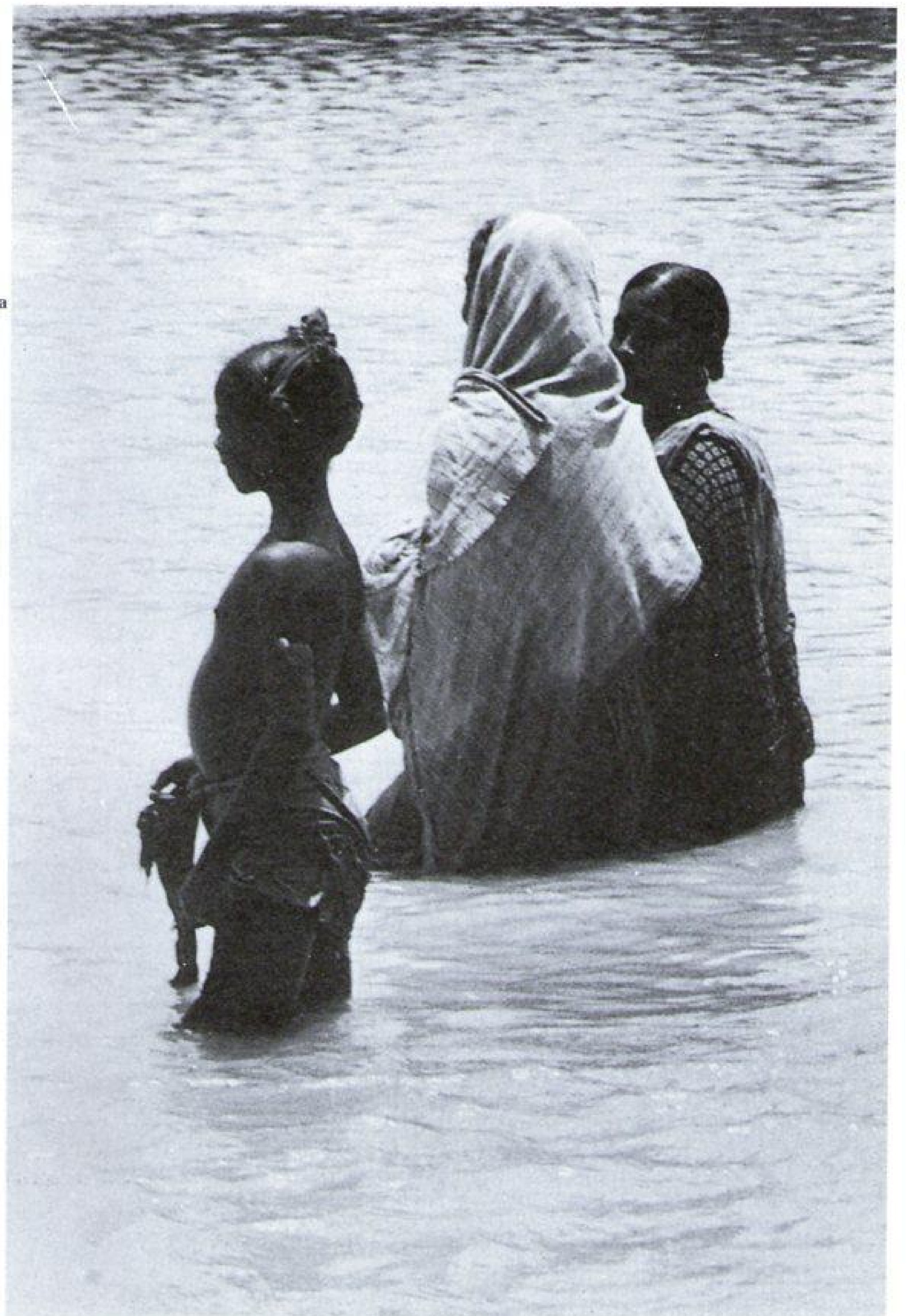
La inclinación del eje de rotación de la Tierra provoca niveles de calentamiento distintos en diferentes partes de la superficie. En el cinturón tropical, que abarca casi 40° al norte y al sur del Ecuador, los sistemas atmosférico y oceánico tienen un excedente de calor, es decir, absorben más calor solar del que irradian. Al norte y al sur de este cinturón, esos mismos sistemas son deficitarios, irradian más de lo que reciben. Si este estado de cosas permaneciese así un cierto tiempo, las temperaturas ascenderían en los trópicos de año en año, mientras que en el resto del mundo haría cada vez más frío. Pero esto no ocurre. La cantidad de calor se equilibra gracias a enormes movimientos de circulación del viento, que llevan el calor desde el cinturón central hasta las zonas más frías del norte y el sur. Aunque la máquina del tiempo abarque 12.720 km. en el Ecuador, y gire a 1.600 km. por hora, mientras el Sol siga emitiendo energía seguirá funcionando.

El clima del globo puede parecernos perfectamente estable, pero, al igual que el suelo que pisamos, ha atravesado extraordinarias perturbaciones rítmicas en el curso de la historia. Así, mientras que la «sólida» Tierra es en realidad una delgada capa de rocas solidificadas, moviéndose sobre una caldera de roca fundida en lenta ebullición, el clima del planeta es también inestable. De hecho, la historia de la evolución del hombre se ha desarrollado en uno de los períodos que, probablemente, ha presenciado algunos de los cambios de clima y medio ambiente más violentos de los cinco evos de la Tierra. Los dos últimos evos de este período de evolución se conocen como era o período cuaternario, dividido convencionalmente en el holoceno, que abarca los 10.000 últimos años, y el pleistoceno, mucho más largo, que lo precedió. En términos de historia total de la Tierra la era cuaternaria es extraordinariamente breve, pues corresponde sólo a la veinticincoava parte del 1 por 100 del total del tiempo transcurrido desde que la Tierra se formó. Pero en esta insignificancia de tiempo geológico apareció el hombre, y la forma y el clima del planeta se alteraron una y otra vez de forma intermitente.

Los cambios del clima global del pleistoceno se conocen generalmente como la edad del hielo o era glacial, aunque ha habido otras tres eras semejantes. Hace unos 20.000 años la zona templada del hemisfe-



Los patrones de vientos y de circulación atmosférica que se muestran en la página 24 no son constantes a lo largo del año. La inclinación del eje de rotación hace que esas bandas se desplacen con un ritmo estacional. Los continentes, las montañas y los océanos pueden complicar el sencillo esquema general. La zona de mayor incidencia solar oscila cada año $23\frac{1}{2}$° de norte a sur, y viceversa. Este ciclo de calentamiento implica que la zona tórrida del Ecuador, la franja de temperatura global más elevada se mueve cíclicamente. Esta zona, *arriba del todo*, alcanza sus posiciones extremas norte y sur muy poco después de los solsticios de verano e invierno. El calor extremado solar provoca una intensa evaporación del agua de los océanos que luego se precipita en forma de lluvia. Así, la zona de lluvias más fuertes y potencialmente continuas suele coincidir con la zona tórrida. En consecuencia, la franja de lluvia tropical intensa se mueve de arriba a abajo de la zona tórrida, produciendo la estación húmeda.



La época de los monzones en el subcontinente indio y en el sudeste de Asia es un espectacular resultado del cambio estacional de la franja de lluvias tropicales. En invierno tiene lugar una enorme evaporación en el Océano Pacífico. En verano, el aire cargado de agua vira hacia el Norte, desaguando sobre tierra firme. En Bombay, por ejemplo, el 95% de las lluvias se producen entre junio y septiembre. Esto es bueno para el cultivo del arroz pero puede causar terribles inundaciones en las zonas bajas.

rio norte nos resultaría irreconocible. La diferencia estribaba en el hielo. Si todo el hielo actual se concentrase en un solo punto formaría un cubo asombroso de 320 km. de lado. En el período más frío de la más reciente de las glaciaciones, el manto de hielo que cubría la Tierra habría dado un cubo tres veces mayor. La alteración de la masa de hielo trajo consigo, directa e indirectamente, cambios increíbles sobre el planeta. Directamente porque gran parte del hemisferio norte estuvo una vez enterrado bajo el hielo. En América las masas de hielo se extendieron hacia el sur cubriendo las regiones del este de Canadá, gran parte del medio oeste americano y Nueva Inglaterra. El hielo también se abrió camino por Alaska, el oeste de Canadá y los estados del noroeste de América del Norte. Al otro lado del Atlántico los gélidos monstruos se movieron hacia el sur, cubriendo la mayor parte de Gran Bretaña y el norte del continente europeo. En los Pirineos y los Alpes se formaron casquetes menores, que alcanzaron parte del territorio circundante. A escala más pequeña se produjeron otros en Argentina y en el Asia austral, a la vez que un paisaje de tundra bordeaba los mantos de hielo.

Los cambios indirectos de la expansión del hielo no fueron menos extraordinarios. Con el descenso de las temperaturas y la consiguiente modificación de los hábitats, las especies animales y vegetales se vieron sometidas a nuevas y poderosas presiones de selección. Algunas se extinguieron, pero otras se aclimataron a las nuevas condiciones, por migraciones o adaptaciones que contribuían a mejorar su eficacia en el nuevo y frío mundo. El simple peso del hielo aplastó literalmente el terreno en algunas regiones, ocasionando deformaciones en la roca de decenas de metros.

El hielo encerrado en los casquetes de formación reciente tenía que haber salido de algún sitio, y tal sitio fue básicamente el océano. Fue tan masiva la transformación de agua en hielo que el nivel de los océanos descendió a escala mundial hasta 107 m. Tras esto, grandes áreas de plataforma continental emergieron por todo el mundo, convirtiéndose en terreno seco. Los continentes crecieron a lo ancho, y como resultado masas de tierra que anteriormente estaban separadas quedaron unidas. Es posible que existiera una espectacular conexión entre Norteamérica y Asia, con un puente de tierra en la zona del estrecho de Bering.

Hace unos 14.000 años la capa de hielo alcanzó su máxima extensión. Comenzó la reconversión definitiva del hielo en agua, y los glaciares empezaron a retroceder según aumentaba el nivel de los océanos. Hace unos 7.000 años la capa de hielo de la Tierra, los patrones geográficos de su clima y sus sistemas de vegetación eran muy similares a los actuales. En términos generales, el holoceno corresponde pues a este último intervalo de temperaturas globales elevadas, mantos de hielo reducidos y alto nivel oceánico.

El más reciente de los cambios del clima terrestre es el que mejor conocemos, pero es de sentido común dudar que fuese el único. ¿Se trata de un único vuelco global totalmente inaudito, o tales acontecimientos eran parte de una sucesión de hechos cíclicos? Parece no existir duda acerca de la estructura interna rítmica, periódica a lo largo del tiempo, de las propias eras glaciales. Es también muy probable que la del pleistoceno fuera sólo la última de las tres eras glaciales que con intervalos muy largos han oprimido la Tierra por períodos relativamente cortos durante el último evo más o menos. Entre tales períodos, la



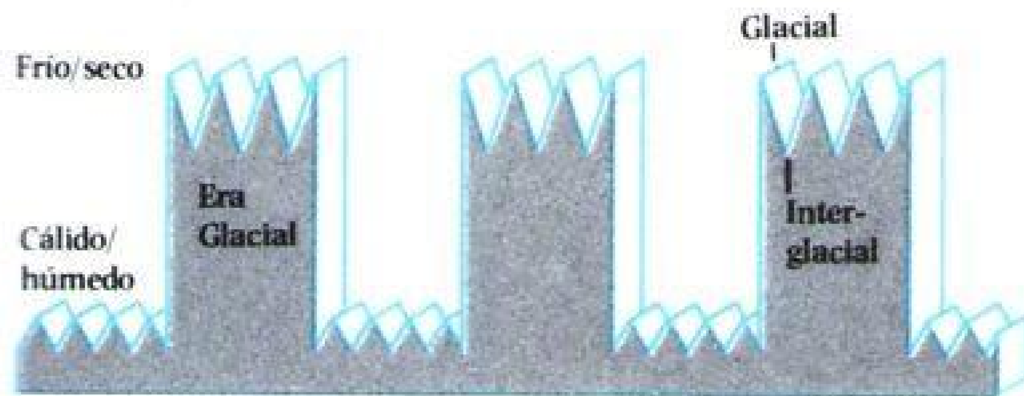
mayor parte de la historia climática de la Tierra ha sido más cálida y húmeda que durante las glaciaciones, quedando reducido el hielo a zonas muy pequeñas o desapareciendo.

Así, la historia total de nuestro planeta es a la vez cíclica y rítmica. El patrón de la meteorología terrestre late como un corazón, pero los latidos son infinitamente lentos. Por decirlo de forma muy esquemática, el clima natural o típico de la Tierra es húmedo y cálido, pero superpuestas a él ha habido una serie de eras glaciales frías y secas. Ambos tipos de clima se han alternado de forma irregular, constituyendo los ciclos de más larga periodicidad que conocemos dentro de los 5 evos de desarrollo de la Tierra. En las eras glaciales se observan patrones de cambio climático, y el planeta experimenta ciclos de períodos interglaciales relativamente cálidos, como el actual, y de otros períodos glaciales más fríos en que los casquetes de hielo son mucho mayores.

Todos nuestros conocimientos de los patrones del tiempo atmosférico de hace miles o incluso millones de años no son casuales. Muy al contrario, son producto de una lenta y trabajosa acumulación y síntesis de gran variedad de datos. Para especular con algún fundamento sobre el clima de eras remotas, hay que emplear toda una serie de técnicas combinadas. Podemos rastrear con considerable precisión y confianza los últimos 8.000 años. Ello es posible gracias al método del radiocarbono (carbono-14), que permite fechar la materia orgánica del suelo, contrastando sus resultados con los de los anillos de árboles de una edad conocida.

La técnica del radiocarbono mide el tiempo transcurrido desde que un organismo murió, al medir la proporción de distintas formas físicas, o isótopos, del carbono que se conserva o aparece fosilizado, ya que sus pesos moleculares presentan leves diferencias. Esta técnica resulta práctica y exacta para los últimos 50.000 años, pero su precisión es extraordinaria cuando se calibra los anillos de pinos del Colorado. Estos árboles viven a más de 3.000 m. en las montañas del suroeste de EE.UU. Algunos de los árboles vivos tienen más de 4.000 años, sus semillas germinaron pues mientras se construían las primeras pirámides. En la misma zona, troncos muertos con anillos susceptibles de ser fechados proporcionan muestras de 8.000 años. Usando la técnica del radiocarbono es posible fechar fósiles de animales y plantas de los últimos 50.000 años de la era cuaternaria. Y si se conocen las necesidades térmicas de estos organismos es posible hacer una valoración detallada de los climas en los que habitaron.

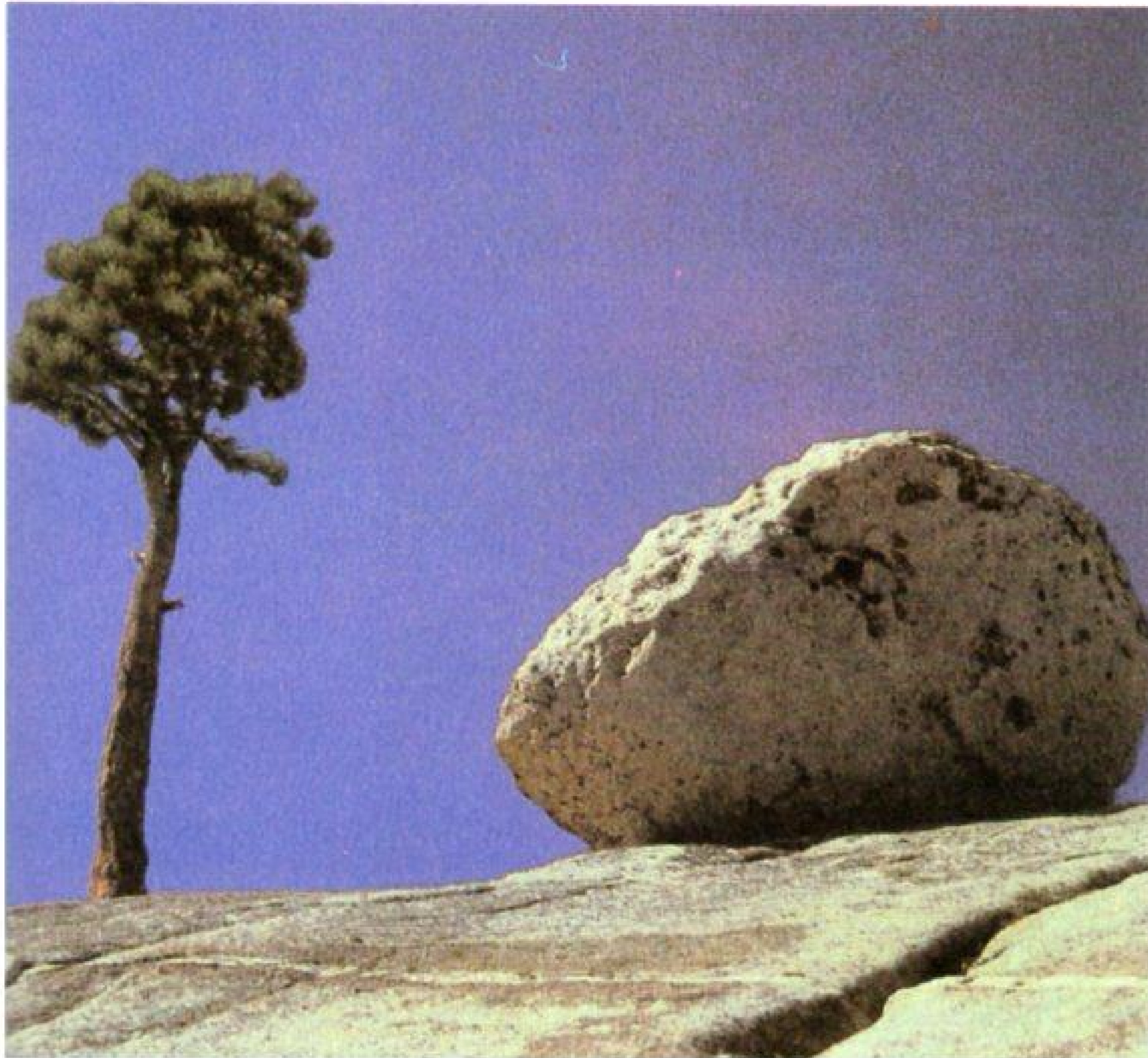
Hay otra técnica isotópica que mide las proporciones de isótopos de oxígeno en los sedimentos oceánicos depositados durante el último millón de años del pleistoceno. Este dato proporciona una medida específica y sutil de la historia del clima global, porque, indirectamente, permite hacer una evaluación del volumen de hielo sobre la Tierra en un momento dado. La teoría científica que respalda esa proeza casi milagrosa es la siguiente: cuando parte del agua se hiela, los isótopos del oxígeno se mezclan con el hielo, que se diferencia del agua restante aunque ambos se componen de moléculas de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Comparado con el agua inicial, el hielo contiene más isótopos ligeros de oxígeno y el agua menos. Cuando el hielo se funde, la concentración de isótopos ligeros en el agua aumenta de nuevo.

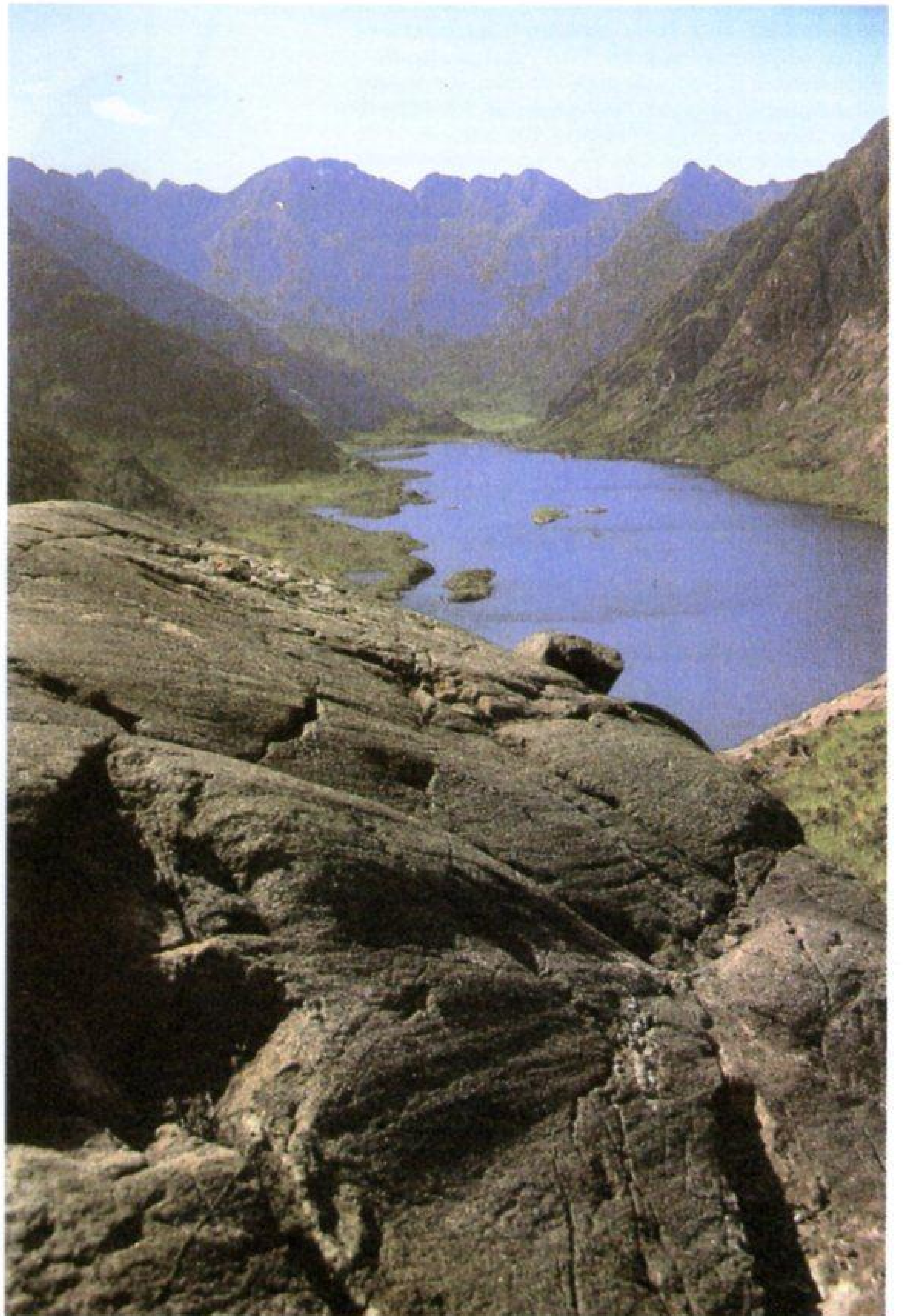


Las tres eras glaciales del último evo presentaron un ritmo de períodos glaciales fríos y secos e interglaciales cálidos y húmedos, *izquierda*. Hoy quizás estamos en un interglacial de la era glacial del pleistoceno.

Los cambios ocasionados en el paisaje por la expansión del hielo en forma de glaciares y casquetes de hielo, que aún persisten en nuestro mundo interglacial, nos hablan del último período glacial. El formidable glarciar Bettmeralp en Suiza, *izquierda*, muestra el río de hielo en lento movimiento salpicado de rocas, al lado del cual la ciudad parece diminuta. *Abajo*, el gigantesco canto rodado del parque nacional Yosemite de California fue transportado desde un lugar lejano por un glaciar, y es hoy testigo mudo de anteriores mantos de hielo.

Lagos en el fondo de los valles, valles cuyos lados tienen forma de U y rayas paralelas sobre rocas duras son signos de la antigua existencia de un glacial. El de la derecha está en Black Cuillin, isla de Skye (Escocia).





Durante la expansión y la contracción de los mantos de hielo en la serie de períodos glaciales e interglaciales, los procesos de congelación y deshielo se desarrollaban no en un laboratorio, sino por todo el mundo. Los animales que vivían en los océanos habitaban un medio acuoso cuya concentración de isótopos de oxígeno cambiaba según el clima; los cuerpos que conservamos muestran todavía una evidencia química de tales cambios en la composición del agua. Es posible trazar un mapa de tales fluctuaciones en los sedimentos oceánicos, reconstruyendo así los cambios climáticos. Los isótopos ligeros del oxígeno eran extraídos de los océanos; cuando las masas de hielo se retiraban al fundirse, los átomos ligeros de oxígeno almacenados retornaban al océano devolviéndole su composición isotópica.

Usando estas y otras técnicas se ha descubierto que prácticamente los dos millones de años del pleistoceno han consistido en transformaciones a gran escala, en una rueda de situaciones glaciales e interglaciales, con una duración media de unos 100.000 años. Los animales y plantas de la Tierra sufrieron profundas restricciones debido a la extraordinaria inestabilidad del clima. En todos los continentes es posible encontrar patrones de reproducción, de distribución y tipos de adaptación de las especies que son el resultado de la evolución impuesta por las presiones selectivas del latir de una era glacial.

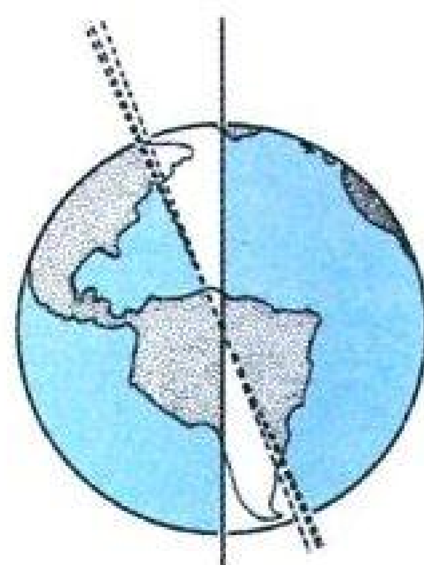
El registro de las rocas revela que ha habido al menos dos eras glaciales anteriores a ésta en la que nos encontramos, aunque estemos en su período interglacial. La primera tuvo lugar a finales del precámbrico, hace unos 700 millones de años. Debido a los movimientos de las rocas y a la erosión es imposible deducir un patrón claro de los glaciales e interglaciales de esta edad del hielo, pero al sur de Africa, en Brasil y en Australia hay desperdigados depósitos glaciales de esta antigüedad.

La segunda se conoce como la era glacial del permocarbonífero. Comenzó hace poco más de 300 millones de años y duró más de 50 millones. En ella, glaciaciones de ámbito continental afectaron a zonas de Sudamérica, el sur de Africa, la India y Australia. En esa época estas áreas, y además la Antártida, estaban fusionadas formando un único y gigantesco continente. Más tarde la deriva continental disgregó segmentos o placas de este continente, produciendo las masas aisladas de tierra del hemisferio sur que hoy conocemos.

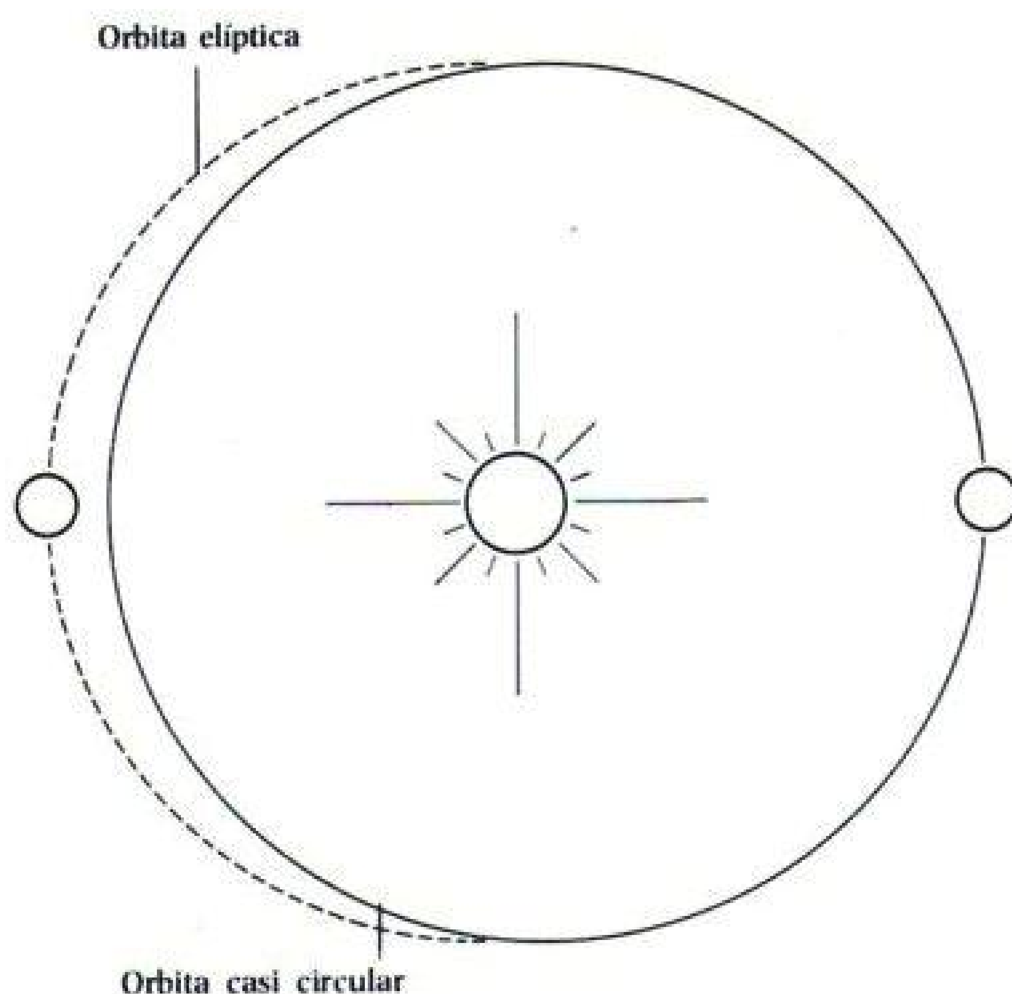
Se ha propuesto la deriva de los continentes como explicación general de la distribución en el tiempo de los tres períodos principales de glaciación masiva de la Tierra. Esta teoría propone que al moverse grandes masas continentales aproximándose a los polos el hielo se acumula progresivamente. Es posible que el acopio tenga su origen en un mecanismo de reacción positiva por el que, iniciada la acumulación de hielo, ésta refleje más energía solar directamente, favoreciendo así el aumento de la acumulación. Tal hipótesis parece adecuada para las dos últimas glaciaciones. En el permocarbonífero, por ejemplo, los continentes formaban un único supercontinente, Pangaea, que se centraba en el Ecuador pero llegaba hasta el polo sur. Fue precisamente en esas zonas de Pangaea en las que se produjo la glaciación. La presente era glacial fue probablemente provocada por el movimiento de América del Norte y Eurasia hacia el polo norte. Los glaciares aparecieron por primera vez en el hemisferio norte hace 10 millones de años.

La deriva de los continentes no incluye componentes rítmicos

En ciclos de plazo largo la inclinación y la dirección del eje de rotación de la Tierra cambian, lo mismo que su tipo de órbita en torno al Sol. Tales cambios alteran gradualmente el patrón de radiación solar que incide sobre la Tierra, afectando profundamente a la extensión de la cubierta de hielo del planeta. Los patrones observados de períodos glaciales e interglaciales de las edades del hielo fueron probablemente causados por tres ciclos, con períodos de unos 21.000, 41.000 y 100.000 años. Esto explica el ritmo de las eras glaciales, no así su desencadenamiento inicial.



La Tierra cabecea con respecto al Sol. Ello se debe al basculamiento de su eje de rotación de 22° a $24\frac{1}{2}$° y de nuevo a 22° cada 41.000 años, *arriba*.



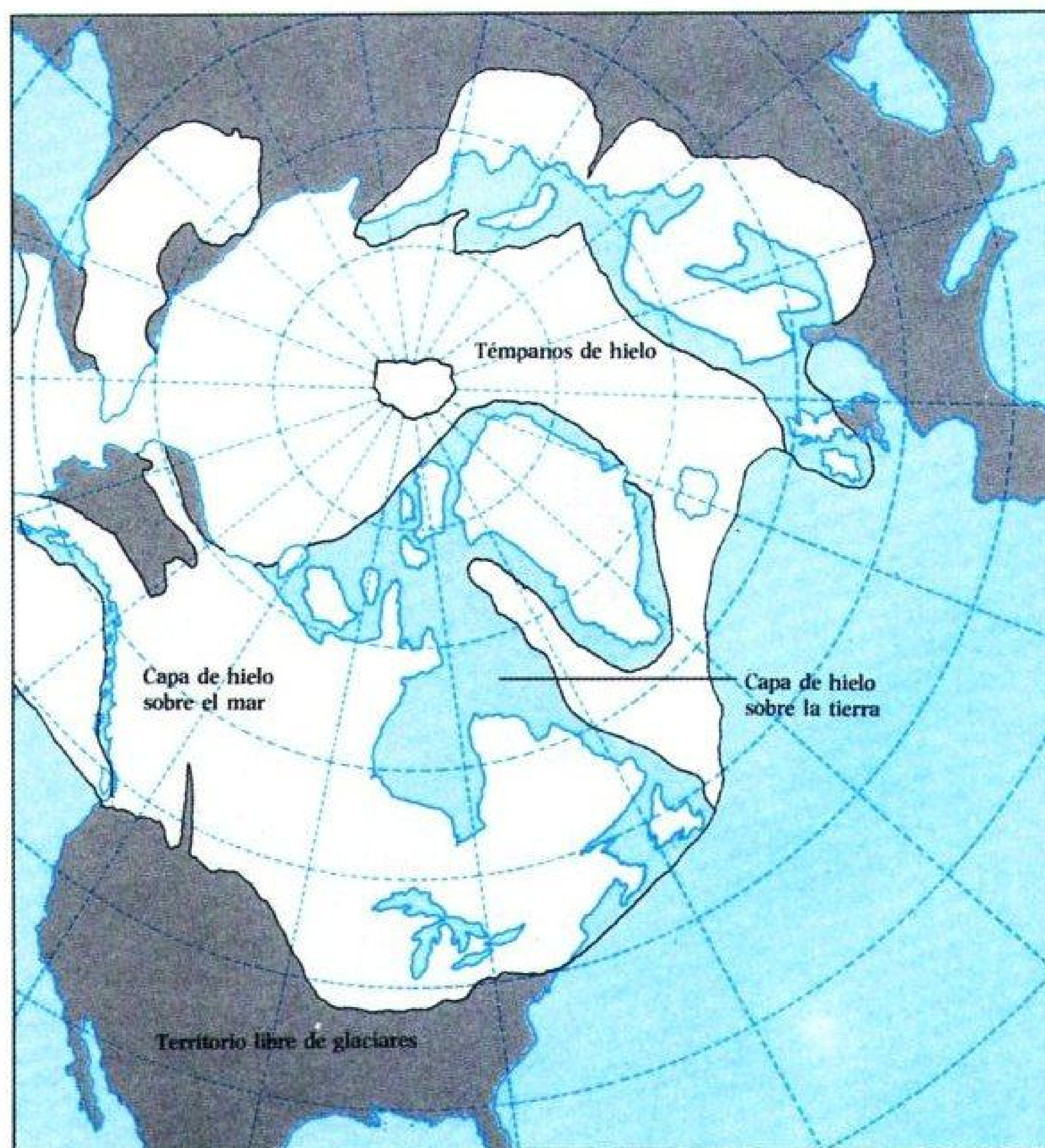
La forma de la órbita de la Tierra cambia cada 90.000 ó 100.000 años. El recorrido orbital es básicamente elíptico, situándose el Sol en uno de los focos de la elipse. En cada ciclo la órbita oscila de más elíptica a casi circular, y viceversa, *arriba*. Junto con los otros dos ciclos, esto provoca cambios complejos de la cantidad de radiación solar que llega a cada latitud de la Tierra en una estación. Esos ciclos y los consiguientes cambios no alteran la afluencia total de energía solar, sino la forma en que esta energía se distribuye por la superficie terrestre. Así las temperaturas globales ascienden y disminuyen lo justo para contrarrestar o desencadenar la glaciación.



La Tierra se bambolea en el espacio como una peonza muy lenta. Su eje de rotación describe un enorme cono sobre las estrellas cada 21.000 años, *arriba*. Los veranos del hemisferio sur son más calientes que los del norte porque al bamboleo se añade el cabeceo del eje. Dentro de 10.000 años ocurrirá lo contrario.

Al helarse las aguas del océano durante la última era glacial del pleistoceno, se expandieron en enormes glaciares. Extendiéndose desde los casquetes polares, el hielo talló el actual paisaje del norte y alteró los patrones del clima. Los casquetes del Artico y el Antártico eran mucho mayores que los actuales, y lo que hoy es zona templada en el hemisferio norte formaba parte de la región polar. Los mapas ilustran la presente capa de hielo, *derecha*, y la extensión del hielo en el apogeo de la última era glacial, hace 20.000 años, *abajo*.





regulares, y es demasiado lenta como para explicar el ritmo regular de 100.000 años de la presente era glacial, demostrable a través de los estudios del oxígeno isotópico y otros. La mejor teoría propuesta hasta ahora para explicar la periodicidad de 100.000 años de los cambios climáticos fue avanzada por un matemático yugoslavo, Milutin Milankovich, en 1920. En pocas palabras, Milankovich sugirió que tres alteraciones de la conducta celeste de la Tierra, rítmicas e independientes, se combinan para producir esquemas temporales en la cantidad de energía solar que incide sobre la Tierra en diferentes latitudes. El propio eje de la Tierra oscila con una periodicidad dual compleja de 23.000 y 19.000 años, en un movimiento conocido como precesión. La inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto de la órbita del planeta en torno al Sol puede variar también cíclicamente de unos 22° a 24,5°, con una periodicidad de más o menos 41.000 años. El mayor de los ciclos, con una periodicidad entre los 90.000 y los 100.000 años, es el del paso de una órbita terrestre relativamente elíptica a otra relativamente circular.

Es éste un ritmo de «excentricidad» que se puede asociar con el dominante de 100.000 años de los últimos períodos glaciales e interglaciales. De modo aún más sorprendente, las muestras de sedimentos oceánicos analizadas por medio de la estimación de los isótopos de oxígeno presentan además periodicidades menores, de unos 43.000, 24.000 y 19.000 años. Estos valores se acercan tanto a los que Milankovich predijo matemáticamente, mucho antes de que fuera concebible el estudio de los isótopos, que suponen un poderoso respaldo a la veracidad de su teoría.

Parece pues que la historia climática de la Tierra, cíclica y rítmica, es consecuencia de una doble interacción. Primero, los movimientos del planeta combinados inciden sobre la afluencia de energía irradiada por el Sol, y segundo, tales mecanismos se combinan con el lentísimo deslizamiento de las masas continentales. Cada uno de los valles de erosión glacial, esté en Escocia, Escandinavia o Alaska, es la última prueba física de los efectos de los diferentes movimientos del planeta: traslación espacial y movimiento de la corteza terrestre.

Dejando a un lado el sentimiento egocentrista de que es ahora cuando vivimos nosotros, el momento actual no tiene nada de particular dentro de la historia planetaria. Los ciclos de Milankovich no se paran y la historia cíclica del clima terrestre, que puede explicarse elegantemente en términos de ritmos de rotación planetaria y traslación orbital, ha de continuar. ¿Qué nos reserva el futuro? ¿Podemos predecir, con los datos acumulados sobre anteriores eras glaciares e interglaciales, cómo será el clima global de los próximos cincuenta, cien, mil o un millón de años?

Los datos que se manejan en este tipo de especulación son de tres clases. Primero se pueden usar las predicciones matemáticas de los ciclos de Milankovich, que en teoría deberían aportar un esquema a grandes rasgos de los principales cambios climáticos futuros. Segundo, podemos intentar extrapolar los detallados registros meteorológicos de los últimos siglos al futuro inmediato. Finalmente, debemos tener en cuenta los datos que indican que la presencia del hombre en el ecosistema planetario no es climáticamente irrelevante, pues estamos cambiando la atmósfera físicamente.

El registro de temperaturas del último millón de años se ha efectuado con las mediciones de los isótopos del oxígeno de sedimentos oceánicos a gran profundidad. El ciclo de 100.000 años en que cambia la órbita de la Tierra podría explicar los siete u ocho apogeos glaciales de los últimos 70.000 años.

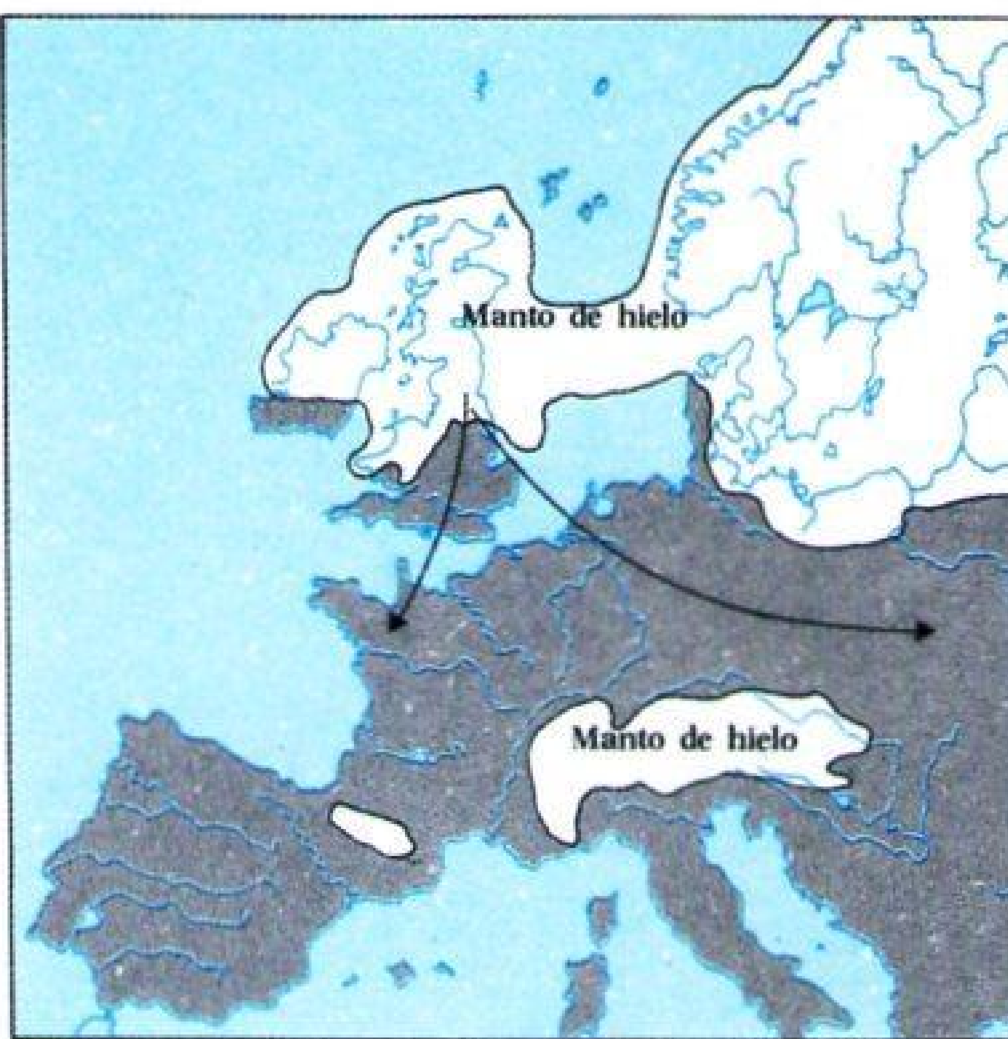




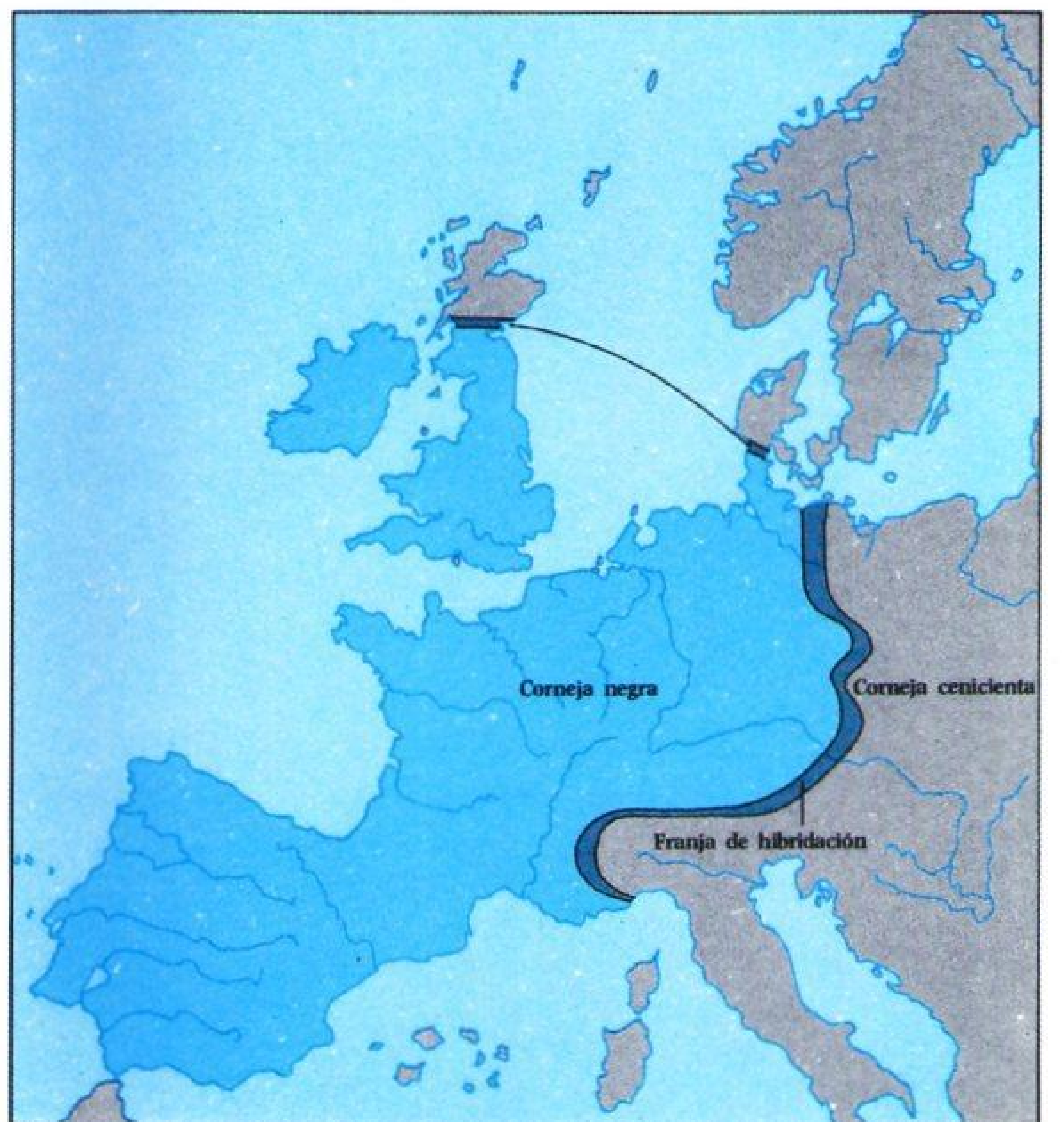
La corneja cenicienta, *Corvus corone corvix*, es inconfundible por su nuca, espalda y pecho grises.



La corneja negra, *Corvus corone corone*, vive en campos despejados y es negra. Forman bandadas sobre todo a la hora de dormir, y anidan en parejas en los salientes de los barrancos o en los árboles. Donde se mestizan con cornejas cenicientas, en franjas de Escocia y del centro de Europa, los hijos tienen plumas más oscuras.



El aumento y la disminución de los mantos de hielo en el ritmo glacial/interglacial de la edad de hielo del pleistoceno tuvo una profunda repercusión en la evolución de animales y plantas. El hielo modificó sus hábitats, de modo que tenían que adaptarse, emigrar o morir. Las cornejas negras y las cenicientas son ambas miembros de la misma especie de corneja europea. El mapa, *derecha*, muestra la distribución de esas dos subespecies, que coinciden sólo en una estrecha franja de hibridación en la que se mestizan. Un grupo ancestral posiblemente fue empujado hacia el sur por el último glacial, ver mapa, *arriba*, y se dividió en las poblaciones este y oeste. La segregación en dos formas distintas ha llevado largo tiempo.



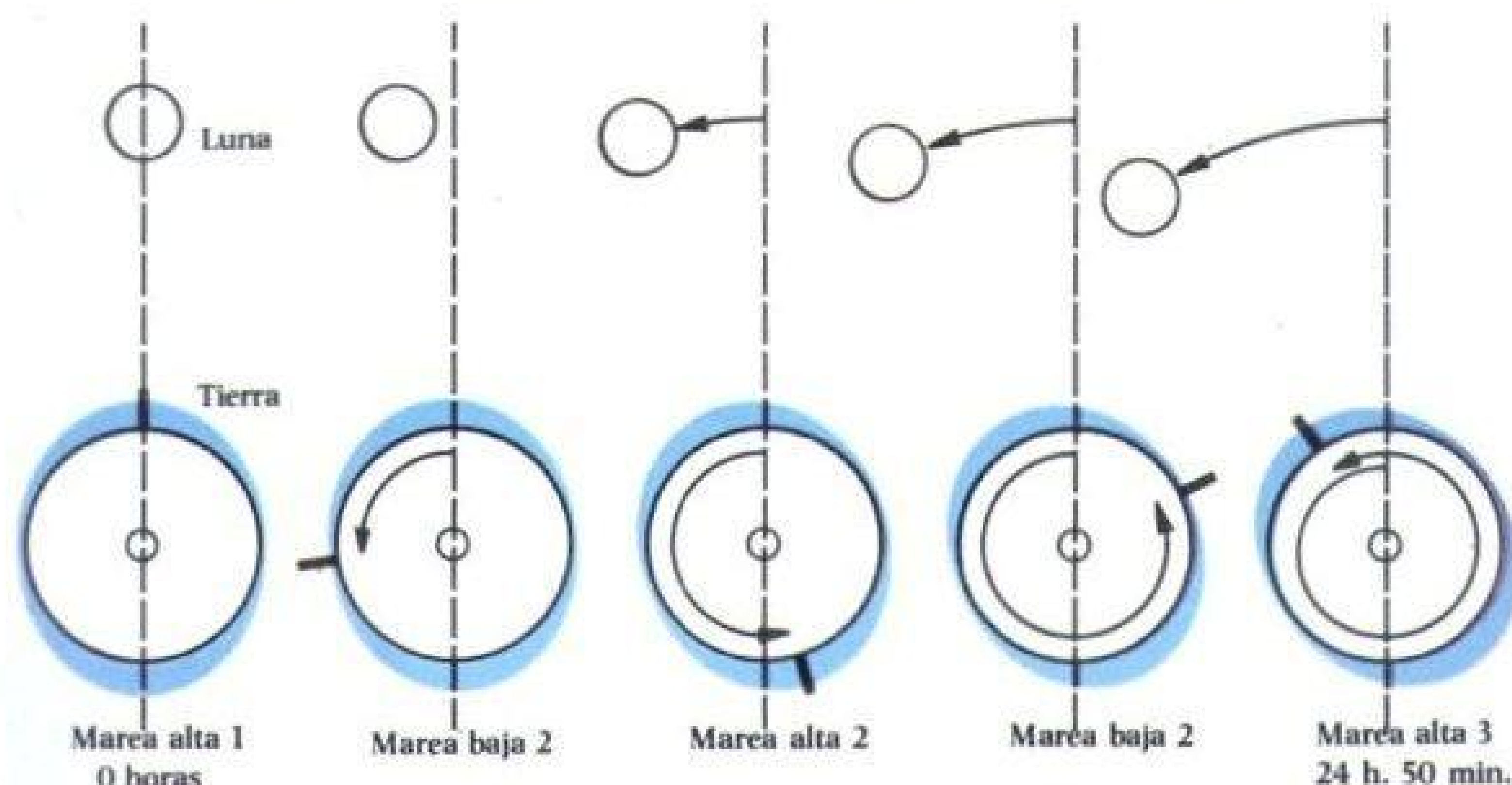
Yendo por partes, parece que los patrones cíclicos básicos del último millón de años indican que estamos sólo al principio de un período interglacial. Lo cual sugiere que acabamos de iniciar las décadas de miles de años de clima relativamente suave y húmedo. Repasando el clima de los últimos siglos en las templadas latitudes medias podemos distinguir muchas décadas de frío excepcional en los siglos XIII y XIV y de nuevo en el XVII. Más o menos desde 1700 las temperaturas medias parecen haber aumentando.

Es difícil juzgar la influencia que el hombre pueda ejercer sobre el clima del planeta, aunque parece probable que la creciente utilización de los bosques tenga repercusiones. Desde el principio de la revolución industrial, a comienzos del siglo XIX, la quema de carbón, de madera y más tarde de petróleo ha supuesto un aumento acumulativo de los niveles de dióxido de carbono de la atmósfera. La destrucción de los árboles acentúa este cambio al reducirse la cantidad de dióxido que es eliminada del aire por fotosíntesis. Resulta imposible hacer una evaluación precisa del aumento de la proporción del dióxido de carbono, pero es probable que la concentración de equilibrio natural de la atmósfera sea hoy de 335 partes por millón, que hemos de comparar con las 270 partes por millón de 1850, y debe tenerse en cuenta que sigue aumentando una o dos partes por millón al año.

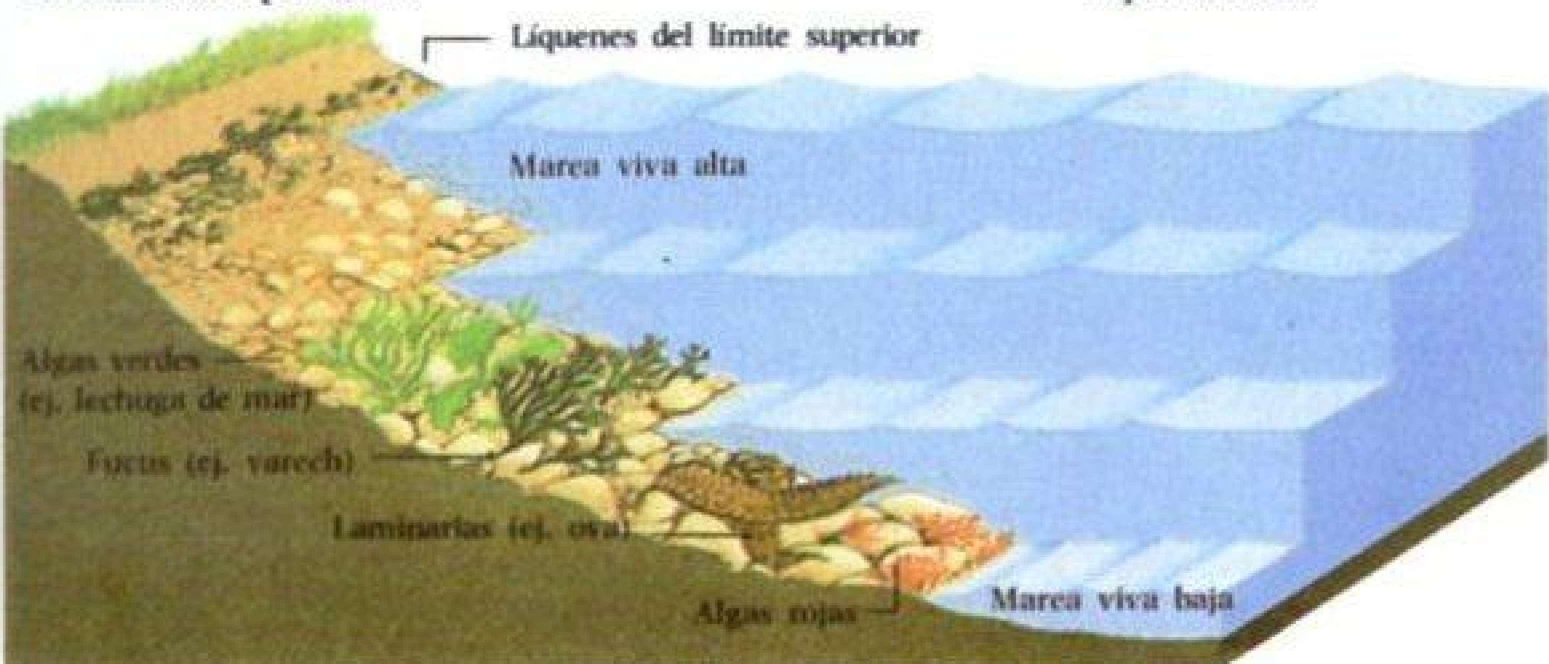
Tales incrementos, aunque pequeños, podrían tener un profundo efecto sobre el clima terrestre. En algún momento podría aumentar la temperatura media del mundo unos cuantos grados, a través de un efecto invernadero cada vez mayor. Tal cambio tendría consecuencias dramáticas sobre el deshielo de los casquetes polares, el nivel del mar, la distribución de las lluvias y muchas otras variables. No obstante, tales cambios tienden globalmente a confirmar la dirección típica del clima en un período interglacial, de modo que la actividad humana en un futuro predecible puede estabilizar lo que es el estado natural de la Tierra, la suavidad interglacial.

Una piedra angular de la teoría de Milankovich sobre la variación planetaria del clima la constituye el efecto de la precesión del eje de rotación de la Tierra sobre la entrada de energía. El movimiento de precesión de la Tierra es análogo a la oscilación rotatoria de una peonza que empieza a pararse. Mientras que la peonza gira deprisa, la orientación de su eje apenas cambia, pero según se va parando aumenta el índice de variación de la orientación. En su movimiento de precesión el eje de la Tierra traza aproximadamente la superficie de un cono con un ángulo de 47°, tardando unos 20.000 años en describir un círculo completo en el cielo.

La oscilación de la precesión de la Tierra es esencialmente un efecto gravitatorio, producido por la influencia de una Luna pequeña y cercana y la de un Sol lejano pero gigantesco sobre la Tierra, que no es una esfera perfecta. Tanto el Sol como la Luna ejercen una fuerza gravitatoria compleja sobre la Tierra, que se ensancha en el Ecuador con una especie de panza planetaria. En comparación con el resto del planeta, esta protuberancia sufre un tirón un poco diferente de la Luna y el Sol, y esto es lo que causa la oscilación de precesión. La precesión es un efecto de la gravitación lunar que ningún individuo puede observar directamente. Sólo tras muchas generaciones es posible distinguir que el polo norte geográfico señala unos puntos levemente desplazados en el



La atracción gravitatoria de la Luna se combina con la fuerza centrífuga de los océanos para producir el ritmo diario de las mareas. La gravitación es una atracción entre las enormes masas de la Tierra y la Luna. El origen de la fuerza centrífuga es el movimiento de tales masas en torno a un común centro de rotación. Juntas producen una doble elevación del agua de la superficie terrestre. *Arriba* se muestra cómo se combina el movimiento de rotación de 24h. de la Tierra con el movimiento de la Luna, para producir la secuencia de la marea. Un punto de la Tierra, indicado por el trazo vertical, se va moviendo por las elevaciones y depresiones del agua en un ciclo que dura un poquito más de un día, ya que la rotación de la Tierra y la órbita de la Luna siguen la misma dirección. Si tal punto fuese una playa surgiría una zona biológica, en la que cada nivel de la playa experimentaría diferentes tiempos de inmersión por ciclo.



La costa de Puerto Vallarta (México), *derecha*, es un pintoresco ejemplo de zona mesolitoral. En sólo unos pocos km. el estilo de vida de los organismos se ve muy afectado por grandes cambios de luz, temperatura y humedad. Un perfil de playa típico, *abajo*, muestra los cuatro niveles de marea principales, y las zonas a ellos asociadas, habitadas por plantas diversas según sus necesidades de metabolismo y reproducción.



firmamento. De momento el cielo nocturno en el hemisferio norte parece girar en torno a un punto cercano a la estrella Polar, pero este punto, debido al fenómeno de precesión, está siempre en movimiento.

Hay otro efecto de la atracción gravitatoria de la Luna que puede observarse directamente. Cualquier niño sabe que la marea sube y baja en la playa. Es del dominio público que las mareas —el avance y retroceso cíclicos del límite del océano sobre la costa— son producidas de alguna forma por la Luna. Pero la danza gravitatoria del Sol, la Luna y la Tierra, que genera los patrones observables de las mareas, es algo tan complicado que sin recurrir a difíciles cálculos matemáticos sólo pueden captarse los patrones e influencias mayores.

Empezando por el principio, todos los objetos del sistema solar se atraen mutuamente por gravitación. Los sistemas de las mareas son el resultado de un patrón de atracción gravitatoria sobre el agua de la Tierra, que cambia cíclicamente. En sentido más amplio, el paso de la Luna sobre la Tierra en su órbita de 28 días provoca otras mareas además de las del océano. Hay mareas atmosféricas y diminutas mareas en las rocas que siguen el giro de la Luna. Olvidándonos del Sol por un momento, e imaginándonos la Luna sobre la Tierra en un instante preciso, las partículas de agua de la zona de la Tierra más próxima a la Luna serán atraídas por ella. Si pueden moverse tales partículas saltarán, alzándose en una masa de marea que aumenta la profundidad justo debajo de la Luna; pero ese no es el único efecto.

En realidad la Luna no gira en torno a la Tierra, lo cierto es que tanto la Tierra como su único satélite giran en torno a un común centro de gravedad, situado sobre la recta que une sus propios centros. La aceleración centrífuga resultante del movimiento varía conforme a la distancia al centro de gravedad común, y en consecuencia es mucho mayor allí donde la superficie de la Tierra queda al lado contrario de la Luna, que en la que está justo debajo. La aceleración afecta a las aguas de igual modo que la gravedad. Así resulta que la fuerza gravitatoria de la Luna produce un alza justo bajo ella, mientras que evidentes fuerzas centrífugas ocasionan otra en la cara opuesta de la Tierra. Si la Tierra fuese una esfera perfecta totalmente cubierta de agua, que sólo se viera afectada por la Luna, las mareas serían producidas por dos alzas simétricamente dispuestas, por las que todo punto de la Tierra en rotación atravesaría unas dos veces cada 24 horas.

Tal es la situación teórica elemental, pero en la realidad hay otros factores que complican mucho el fenómeno de las mareas. En primer lugar no podemos olvidarnos del Sol; su influencia gravitatoria sobre el agua de la Tierra es como la de la Luna, sólo que la mitad de potente. Cuando los tres astros se encuentran en línea recta las dos alzas de la marea son mucho mayores que las provocadas sólo por la Luna. Esas son las mareas vivas, que se producen más o menos cada dos semanas coincidiendo inevitablemente con la Luna llena o la Luna nueva, que es cuando se da la disposición lineal requerida. Estas mareas generan los niveles más altos de las mareas altas y los más bajos de las bajas. Cuando, por el contrario, el Sol, la Tierra y la Luna forman ángulo recto, la fuerza gravitatoria del sol contrarresta parcialmente la de la Luna; las mareas resultantes o mareas muertas son menos extremadas y tienen lugar aproximadamente una semana después de la marea viva.

Las mareas reales tienen periodicidades complejas e irregularidades



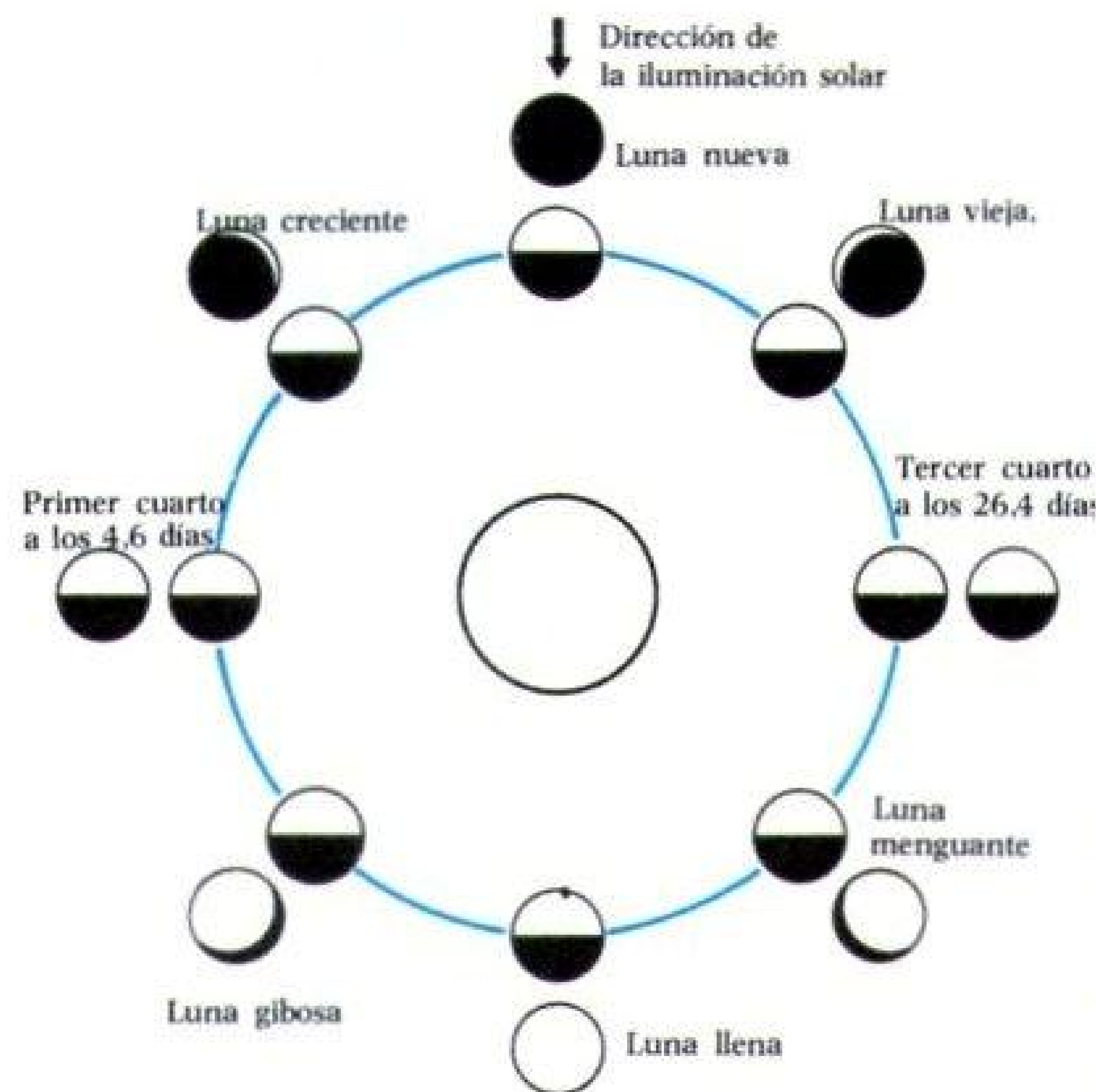
que resultan de factores como el rozamiento de las masas de agua en movimiento con el fondo oceánico, el bloqueo físico del trasvase de agua por masas de tierra, la resonancia de las masas de agua relativamente encajonadas y otros efectos físicos sutiles. Tomando todo ello en consideración resulta que la predicción de las mareas reales es una ciencia muy complicada. Las predicciones específicas han de concretarse a una región geográfica, pues las condiciones locales influyen enormemente en los patrones básicos de las mareas. El Mediterráneo, por ejemplo, experimenta unas mareas muy limitadas, mientras que en las costas del Atlántico norte la variación de las mareas es espectacular. Precisamente esta diferencia causó, según se dice, el descalabro de uno de los intentos de Julio César de invadir Inglaterra. Acostumbrados a la balsa del Mediterráneo, sus capitanes desestimaron el alcance de las mareas en la costa del Canal de la Mancha, lo cual hizo naufragar a gran parte de la flota invasora.

La costa, el tramo entre los dos grandes y complejos ecosistemas de la tierra firme y el mar, constituye una zona de vida increíblemente variada. Incluso en un planeta sin mareas, el límite entre tierra y océano presentaría interesantes diferencias con respecto a ambos y a sus organismos especializados. En todas las regiones de frontera biológica pasa lo mismo, porque en ellas una amplia gama de importantes parámetros físicos, como la luz, la temperatura, el agua disponible, etc., experimentan cambios rápidos. Las mareas de un mundo como la Tierra amplían la zona de contacto, que abarca una distancia considerable tanto vertical como horizontalmente. Las mareas también acentúan la fluctuación de los factores ambientales, característica de la zona costera. La zona mesolitoral, la que media entre las marcas más baja y más alta de la marea, acoge a una extensa comunidad de animales y plantas, a menudo de copiosa reproducción. Las plantas que viven allí, algas la mayoría pero también líquenes y unas pocas plantas con flor, disponen de abundante agua, de una reserva de sales minerales normalmente ilimitada, y de luz suficiente para fabricar elementos nutritivos por fotosíntesis, ya que en esta zona límite las aguas no son nunca muy profundas.

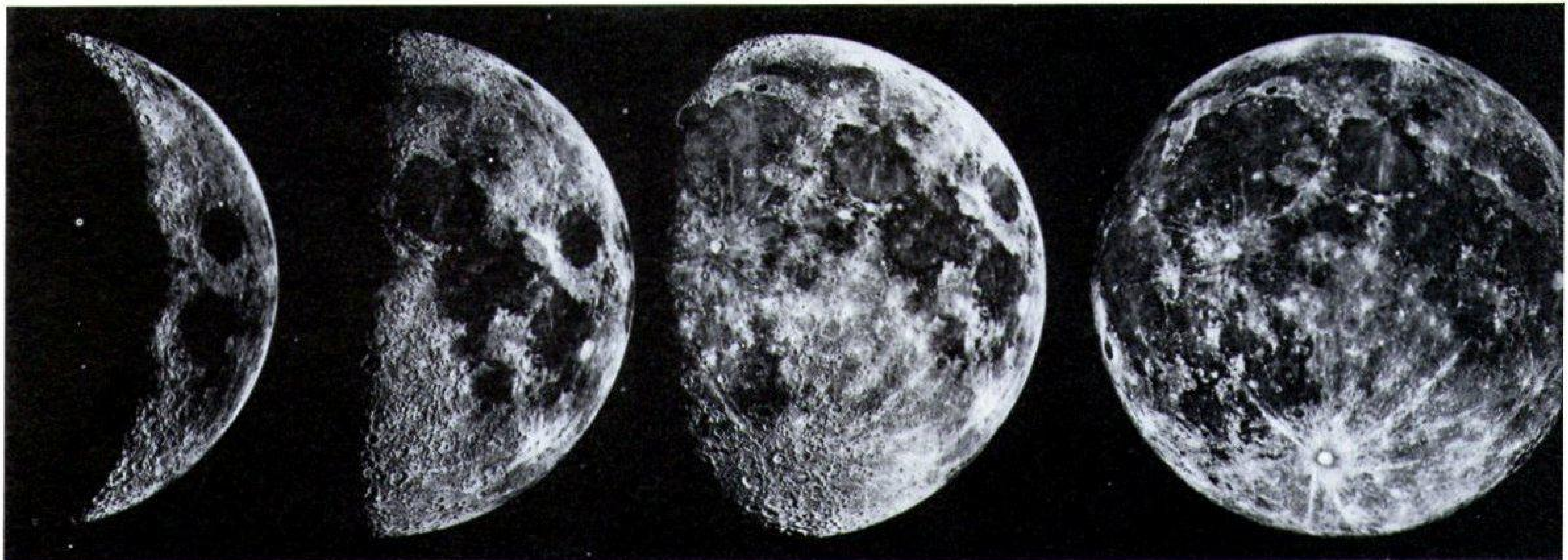
Por todo el mundo el carácter variado de la zona mesolitoral depende de la forma física del terreno que linda con el mar, de la exposición de la costa a un oleaje fuerte, de las condiciones climáticas ambientales y de la naturaleza fisiológica de los animales y plantas que la habitan. Los dos tipos extremos serían la playa arenosa o de lodo en suave declive, apenas expuesta al oleaje, y el acantilado vertical, de cara a los vientos y azotado por olas de embate oceánico. En medio queda una amplia gama de tipos intermedios con playas de inclinaciones moderadas. Pero bien se trate de una extensión kilométrica de lodo o de un acantilado cortado a pico, los movimientos de la marea proporcionarán unos gradientes bien definidos para las condiciones de vida en dicha zona.

En la playa, el gradiente básico es el de la inmersión. Al final de la playa habrá una zona que sólo quede expuesta al aire dos o tres veces al año durante una marea viva baja. Por otro lado, al límite de la zona mesolitoral existirá una franja que el mar cubra sólo otro par de veces. Entremedias se dará un gradiente más o menos regular, en el que los organismos quedarán inmersos en proporciones de tiempo diferentes. El

Las fases variables de la Luna son los perfiles que un observador terrestre ve de la cara iluminada de la Luna. Probablemente, al ser el fenómeno astronómico más fácil de observar, debe haber sido el ciclo cósmico que primero reconocieron y reverenciaron los hombres primitivos. Excluyendo las manchas solares, las únicas características de la superficie de los astros que pueden observarse con los ojos son algunos rasgos del disco lunar. Con una buena vista se pueden distinguir los anchos llanos negros llamados mares, las regiones altas y unos pocos cráteres mayores. Con telescopios elementales o con unos simples prismáticos se captan muchos más detalles, incluyendo los rayos luminosos que irradian de cráteres como Tycho y Copernicus y recorren enormes distancias. Tales rayos muestran el material despedido balísticamente, al formarse los cráteres de impacto por el choque de enormes objetos sólidos con la superficie de la Luna. El ciclo lunar de Luna creciente a Luna llena y de ésta a Luna vieja, ofrece diferentes oportunidades de observar los diversos rasgos de la superficie. El máximo detalle se aprecia cuando la Luna está iluminada por el sol oblicuamente, pues entonces los relieves proyectan largas sombras. Así ocurre con la Luna creciente y la menguante.



La Luna es el único satélite natural de la Tierra y no posee luz propia, siendo su brillo, únicamente, una manifestación del reflejo de la luz solar. Los astronautas, desde la Luna, vieron la Tierra igual; la luz de la Tierra es también luz solar reflejada. Excepto en los eclipses de Luna, cuando la Tierra está justo entre la Luna y el Sol, la mitad de la superficie casi esférica de la Luna está siempre iluminada por el Sol: una mitad está siempre iluminada, la otra casi en completa oscuridad. Esto se muestra en el diagrama de la *izquierda* (círculo interior). Desde la Tierra, sin embargo, la apariencia de la Luna varía; y la secuencia regular de aparentes cambios de forma se llama fases. Cuando la Luna está entre la Tierra y el Sol, no podemos verla, porque es su lado oscuro el que nos enfrenta. Esta es la Luna nueva. Cuando la Tierra se interpone entre la Luna y el Sol, la cara de la Luna está vuelta hacia nosotros, y vemos entonces la Luna llena. Las fases intermedias, creciente, primer cuarto, Luna gibosa, menguante, tercer cuarto y Luna vieja son causadas por un ciclo de condiciones de visibilidad intermedia, que se muestra a la *izquierda* (en la figura, el círculo exterior). Cuando la Luna nueva se interpone entre un observador y el Sol se produce un eclipse solar.



gradiente de inmersión genera una amplia gama de gradientes secundarios en aspectos tales como la temperatura y la desecación. El resultado de toda esta serie de gradientes superpuestos es que las playas con mareas fuertes acogen a una serie de comunidades animales y vegetales, dispuestas en paralelo desde el límite superior hasta el fondo de la zona mesolitoral.

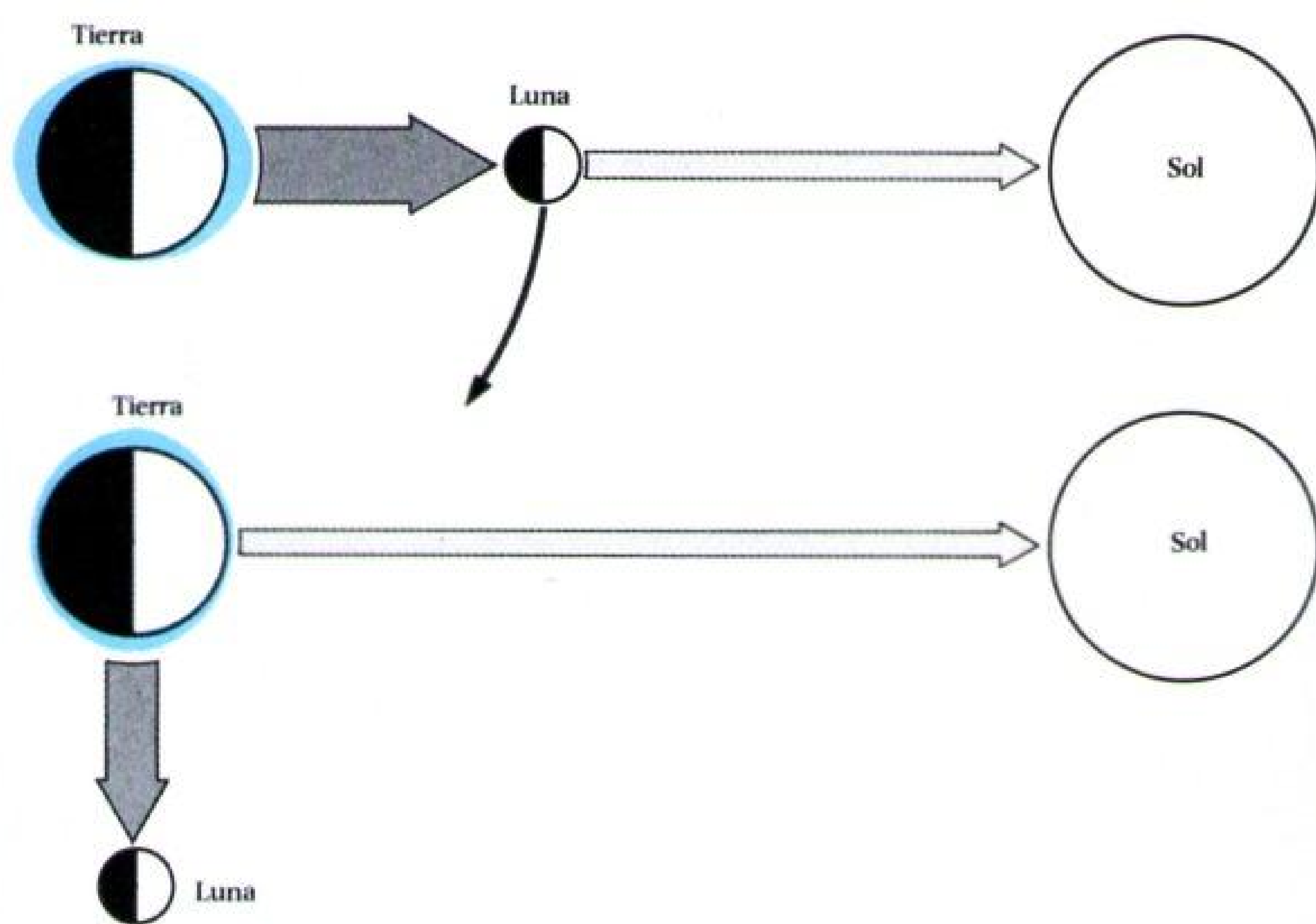
Sería fácil determinar la posición de alguien que estuviera de pie en una playa con gradientes: bastaría con identificar los animales y las algas bajo sus pies. Ciertos moluscos, gusanos y crustáceos se han adaptado a zonas concretas de la playa, en las cuales habitan. Del mismo modo la capa de algas de la zona mesolitoral se estructura en una serie de tipos de algas especializadas para actuar de modo más eficaz a diferentes grados de inmersión. Por ejemplo, en orillas templadas y rocosas la gran laminaria marrón domina la parte baja de la playa, el fucus la zona central y una mezcla de algas verdes y líquenes de la piedra la zona alta.

Para todos esos organismos tan adaptados, el ciclo de la marea alta y baja es la variable ambiental dominante. Este ritmo es más importante que ningún otro ciclo físico, incluyendo los cambios que se producen entre el día y la noche, para la determinación de los patrones adaptativos de la conducta del estilo de vida de los organismos. A esto se debe que los animales de esta zona organicen sus actividades de caza y pasto, sus encuentros y su reproducción de acuerdo con el imperativo de las mareas. Asimismo, es posible que la fotosíntesis y la reproducción de las algas se estructuren de manera similar, de acuerdo con la secuencia de las mareas y los ciclos del día y la noche.

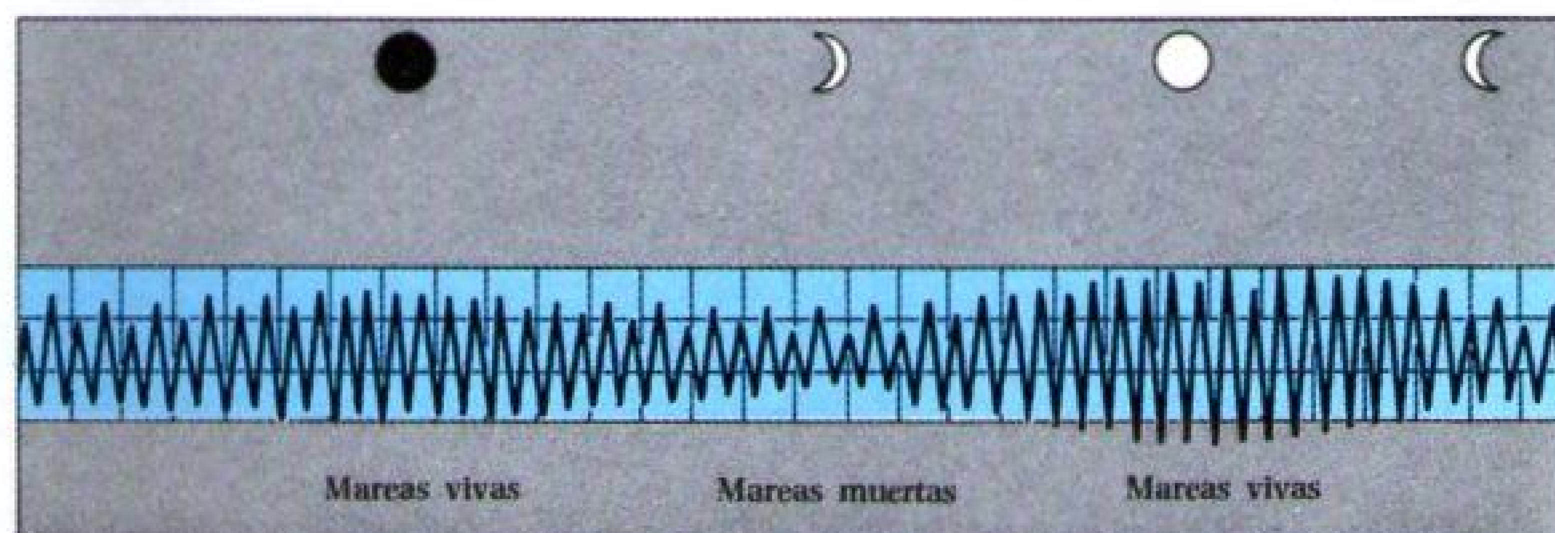
La playa puede parecer una parte un tanto anodina del paisaje marino, pero es una imagen en diminuto de todos los procesos rítmicos de la vida. De manera especialmente directa podemos percibir cómo un ciclo ambiental rítmico tan elemental como la pulsación de las mareas impone a todas las criaturas expuestas a él un patrón tanto espacial como de conducta temporal. Más aún, en este caso resulta fácil darse cuenta de cómo un ritmo ambiental es consecuencia directa de un movimiento cósmico. Todas las sociedades se han percatado de que la Luna rige las mareas: a nadie que desde una barca observe el horizonte, le pasaría inadvertido el vínculo inexorable entre las fases de la Luna y la altura de la marea.

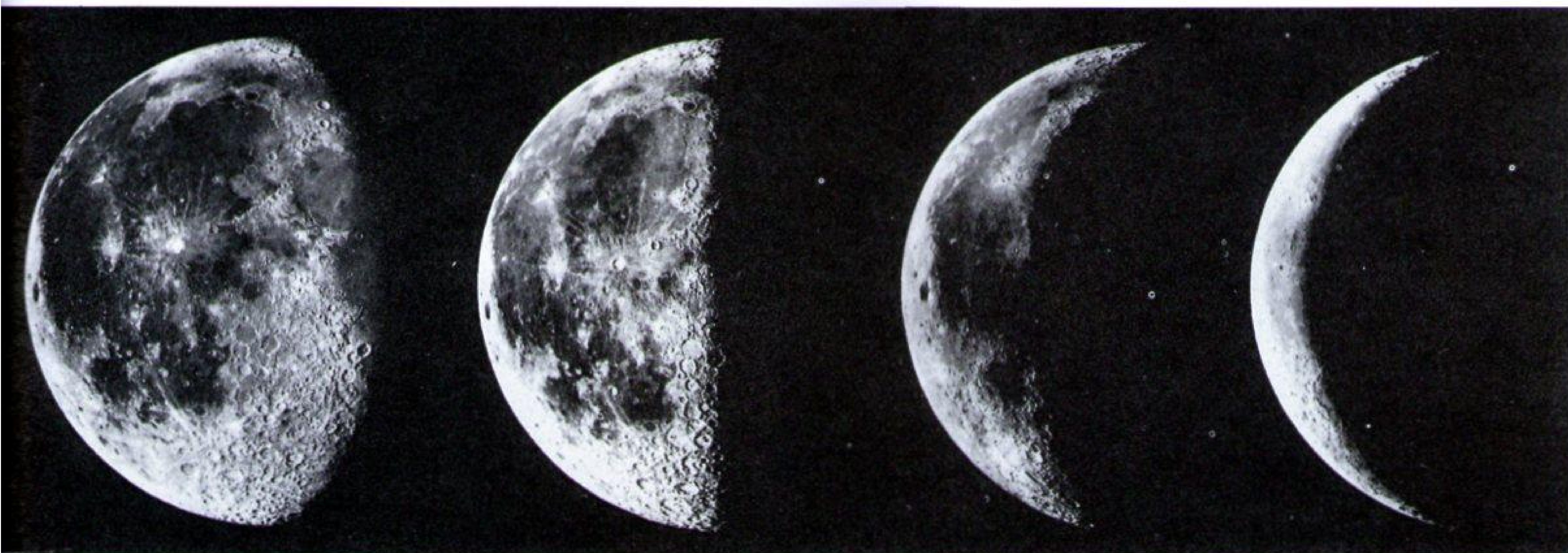
La ligazón ocasional entre los movimientos de la Luna, las mareas y el comportamiento de la vida en la zona mesolitoral, es sólo parte del entramado de conexiones similares que relaciona los movimientos del sistema solar con los altibajos de la vida en nuestro planeta. Puede haber patrones cíclicos tan lentos que no quede memoria ni registro humano de su acontecer. La pulsación glacial-interglacial con sus periodicidades de miles de años pertenece a este apartado. Los más rápidos de los ciclos, como el de las mareas, dos veces al día, tienen una frecuencia que hace que cualquier organismo, excepto los más efímeros, los perciba y acuse su influencia.

Se culpó a los antiguos astrólogos de propagar sartas de tonterías, y, sin embargo, en el centro de su visión cósmica habían dado con una exquisita verdad: que todas las criaturas de la Tierra, el hombre incluido, se han desarrollado reflejando en su vida diaria los patrones y ritmos del movimiento de los cielos.



La atracción de la luna es la mayor fuerza gravitatoria ejercida sobre los océanos de la Tierra. Aunque sea tan pequeña su atracción es dos veces mayor que la del sol debido a su cercanía. La anchura de las flechas gruesas, *izquierda*, muestra el tamaño relativo de ambas fuerzas. Cuando Tierra, Sol y Luna están alineados, la atracción conjunta del Sol y la Luna produce mareas «vivas» muy altas y muy bajas, que acontecen más o menos cada dos semanas, en la luna nueva y la luna llena. Cuando los tres astros forman ángulo recto, *inferior izquierda*, entre dos mareas vivas, el resultado son las mareas muertas, altas y bajas pero siempre menores, que se producen en el primer y tercer cuartos. Este ritmo, con periodicidad de 14 y 28 días, se ejemplifica *abajo*, en la secuencia de mareas del mes lunar en la costa atlántica de Estados Unidos, cerca de Nueva York.







Los ritmos de las estaciones

Al analizar los atributos que han hecho del *homo sapiens* el animal más próspero y extendido del planeta, lo que normalmente se señala primero es la capacidad mental, y a continuación, como una idea secundaria, la posición erecta sobre dos piernas. Las anteojeras de la vanidad nos impiden ver otras dos características importantes en el ascenso evolutivo y social de la raza humana: en concreto, que comparados con la mayoría de los animales somos grandes y longevos.

Los humanos no somos muy dados a tales consideraciones comparativas, pero más del 99,9 por 100 de las especies animales son más pequeñas y viven menos que nosotros. Esta combinación de características no es en modo alguna rara, pues hace ya tiempo que los biólogos reconocen que existe una relación directa entre la talla y la longevidad, o lapso de las generaciones. Lo que sí es sorprendente es la nueva perspectiva que la aceptación de tales atributos humanos proporciona.

La gran talla del hombre implicó probablemente que en las etapas clave de su evolución, durante el pleistoceno, hace unos dos millones de años, había pocos animales que se le resistieran si actuaba en grupo. La longevidad abre al hombre algunas puertas de la evolución, pero le cierra otras. Tarda tanto —doce años o más— en alcanzar la madurez sexual, que el índice de crecimiento de su población jamás se aproxima a la de la mosca de la fruta o a la de los ratones blancos. Pero la duración de la vida del hombre —tres veintenas de años, diez según la Biblia— permite un desarrollo de posibilidades y percepciones del mundo inasequible para los que se reproducen «a toda velocidad». La recompensa intelectual de la longevidad humana es que nos aporta una visión amplia. Emocional o instintivamente, jamás medimos nuestras vidas en minutos o segundos. El patrón de los días es sólo el aspecto más inmediato y pasajero de nuestra visión humana del tiempo. Nuestro ámbito natural es el grandioso paso de las estaciones y de los años, de modo que si se nos pidiera que describiésemos nuestro patrón de vida, la mayoría de nosotros hablaríamos de períodos de esta duración de forma natural. Tal percepción del tiempo es para el hombre una creación mental que, no obstante, se asienta sobre unos procesos biológicos fundamentales. Fisiológicamente respondemos al cambio de las estaciones de manera muy parecida al resto de los organismos grandes y longevos.

Para llegar a viejos, los animales y plantas grandes han de responder a las alteraciones producidas en sus hábitats por la secuencia cíclica de las estaciones. Las incalculables generaciones pasadas que han experimentado tales patrones variables, han sometido a los organismos que viven más de doce meses a fuertes presiones de selección en su proceso evolutivo. Las variedades de especies animales o vegetales, en cuyo código genético no se hallaban impresas las respuestas adecuadas al cambio de las estaciones, se extinguían con mayor facilidad que las otras. Las plantas perennes, polinizadas por insectos, necesitaban para sobrevivir instrucciones genéticas que les permitiesen florecer en la época en que los insectos adecuados desarrollaban su actividad.

Para la mayoría de los habitantes de Europa o Norteamérica hablar de las estaciones trae siempre a colación la secuencia de períodos cuatripartita que constituye un año. Los nombres de esas cuatro etapas anuales —primavera, verano, otoño e invierno— evocan en las distintas lenguas una imagen mental de la vida, en la que el tiempo atmosférico es un elemento más. El discurrir clásico de las estaciones, la secuencia cantada por los poetas, no constituye un patrón válido para toda la Tierra.

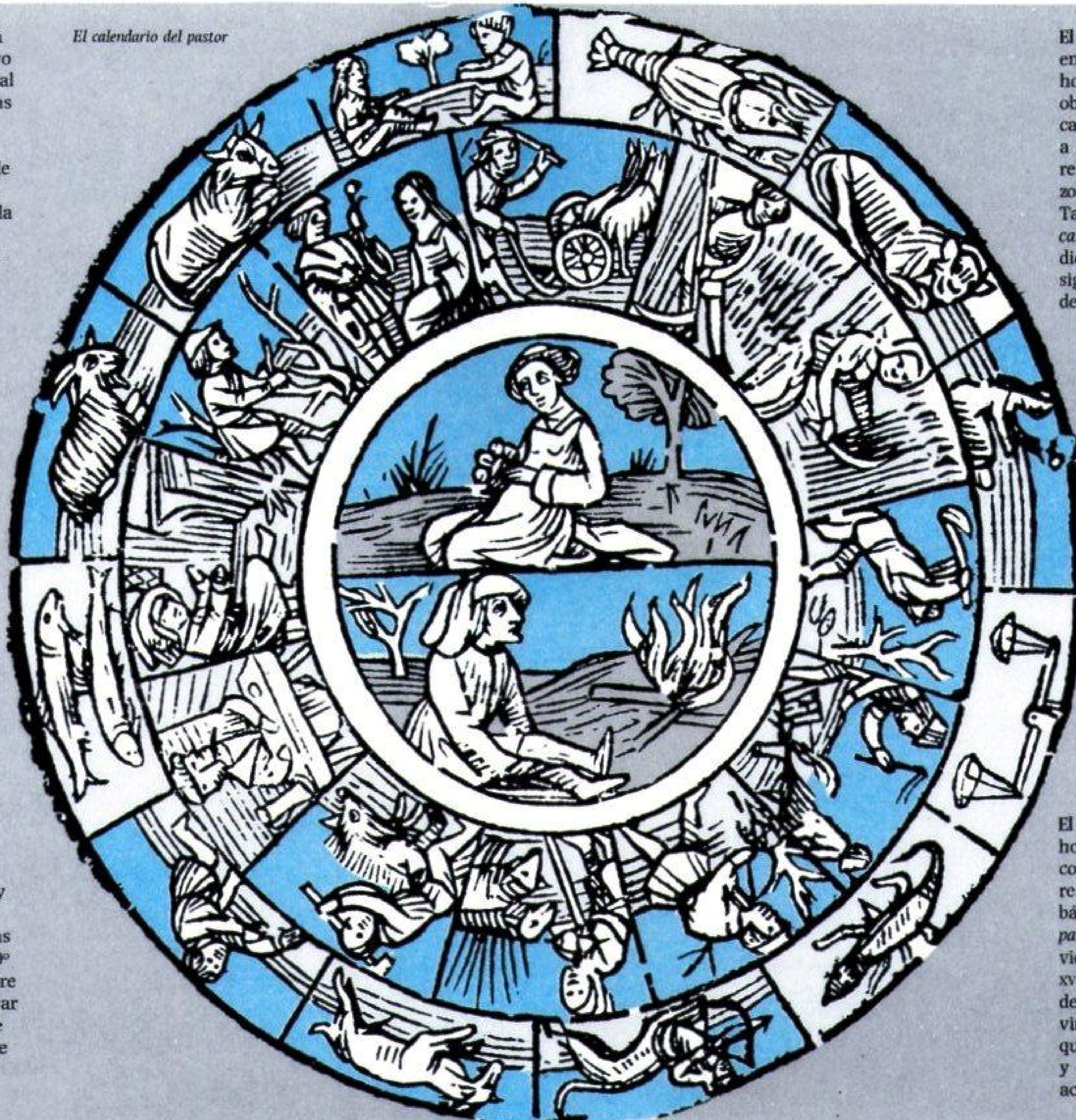
El ciclo de estaciones concreto que experimenta determinada área depende absolutamente de su localización. Precisamente la latitud es lo que más incide sobre el ciclo. En términos generales, el año con cuatro estaciones, supuestamente ortodoxo, es un fenómeno típico de latitudes medias, de las zonas templadas de la Tierra comprendidas entre la zona tropical del Ecuador y las gélidas zonas polares del planeta. Allí donde se dan las estaciones, éstas se caracterizan por patrones específicos de los tres agentes físicos más influyentes en la configuración del medio en que habitan los seres vivos, incluidos nosotros: temperatura, luz y agua.

La importancia de la temperatura reside en su papel de regulador físico, esencial, del ritmo al que se producen los procesos químicos que determinan la vida. Esta regulación es consecuencia directa del hecho termodinámico de que la mayor parte de los procesos físicos y químicos que consumen energía se aceleran con los aumentos de temperatura y se retrasan con los descensos, siempre que, claro está, las temperaturas no sean tan extremadas que maten al organismo o suspendan su actividad.

En términos de energía, lo que rige los ecosistemas de animales y plantas es la luz del Sol. Ella es en última instancia la fuente de energía básica para la conversión neta de moléculas inorgánicas en moléculas orgánicas, como proteínas, grasas, azúcares y otras sustancias de vida compleja. La conversión se efectúa por medio del proceso de la fotosíntesis, activado por el Sol en las células de las plantas que contienen el pigmento verde de la clorofila. Reducida a lo fundamental, la fotosíntesis implica la combinación del dióxido de carbono de la atmósfera con agua extraída del suelo, para formar moléculas de azúcar. Como resultado de este proceso se desprende oxígeno. Los productos de la fotosíntesis de las plantas proporcionan alimento a los herbívoros, y éstos a su vez a los carnívoros, en la pirámide de la jerarquía de predadores. Cuando un león devora a un ciervo, tal acción en términos de conversión biológica está sólo un paso más allá del comer hierba. La luz del Sol proporciona también el entorno adecuado para la visión. Debe observarse que sin esta luz la vista, el más preciso y específico de los sentidos, no sólo resultaría inútil, sino también inimaginable.

El agua es un ingrediente importantísimo en todo ser vivo. Cualquier célula viva contiene por lo menos un 90 por 100 de agua. La cantidad de agua disponible en un medio dado a menudo resulta ser el factor principal que posibilita la actividad biológica o la impide.

Primavera, verano, otoño e invierno tienen cada uno unas características fijas de luz, temperatura y disponibilidad de agua, pero apenas puede dudarse que la temperatura sea el factor clave en las zonas templadas del mundo, digamos entre los 30° y los 70° de latitud (desde Nueva Orleáns a Murmansk en el hemisferio norte, y de Durban



El calendario del pastor

La primavera siempre ha iniciado el ciclo de cultivo en las zonas templadas, al ascender las temperaturas por encima de los 6 °C necesarios para que se reanude el crecimiento de las plantas. Se siembran las semillas y comienza la estación de cultivo, activándose los procesos esenciales de la vida.

El verano empieza en junio en el hemisferio norte. Los hombres del medievo observaron las posiciones cambiantes de las estrellas a lo largo del año, y relacionaron los signos del zodiaco con las estaciones. Tal y como se refleja en *El calendario del pastor* se dieron cuenta de que los signos cambiaban a mitad de mes.

El invierno, con temperaturas heladoras y noches largas, es característico de las zonas templadas frías (entre 30° y 70° de latitud). Si el aire está saturado, puede nevar a 3 °C, pero esta nieve se funde. Al enfriarse el aire los copos se hacen más finos y caen.

El otoño significaba para el hombre medieval la cosecha anual de las reservas alimenticias básicas. *El calendario del pastor* muestra cómo la vida de principios del siglo XVI giraba en torno al ciclo de las estaciones con una vinculación mucho mayor que en nuestra tecnológica y «apoltronada» vida actual.

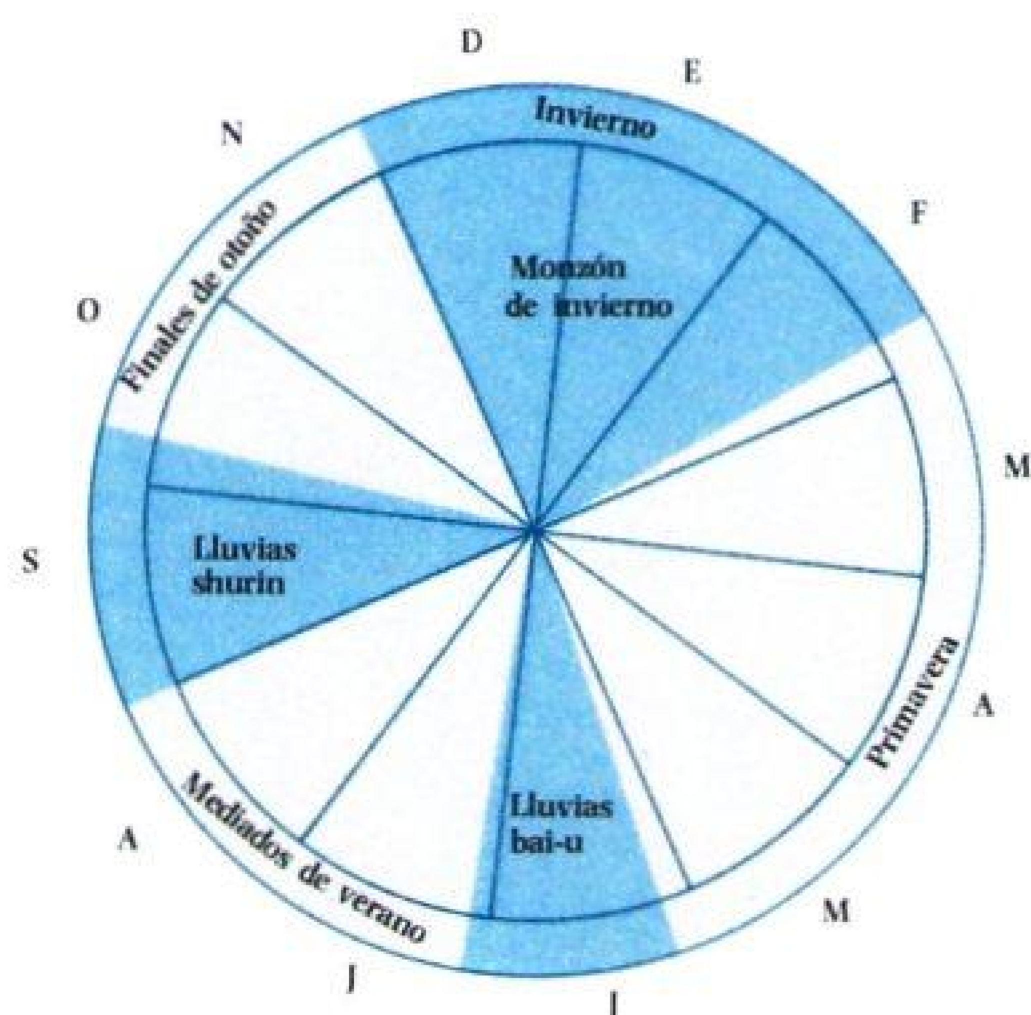
a la Isla de Alejandro a orillas del Antártico en el hemisferio sur). En latitudes medias, por ejemplo, la temperatura es lo que casi siempre define el patrón de crecimiento de las plantas. De hecho el significado de la palabra «templado», aplicado a zonas geográficas, sólo puede entenderse en relación con los niveles de temperatura absolutos. En este contexto, templado no tiene nada que ver con invariable o moderado. Debido al eje de rotación inclinado de la Tierra, las regiones templadas experimentan temperaturas intermedias entre los valores permanentemente altos de los trópicos y las temperaturas mucho más bajas que prevalecen todo el año en el Artico y el Antártico.

La inclinación, además de producir una temperatura suave en latitudes medias, produce también, lógicamente, otra con grandes fluctuaciones. Cuando uno de los hemisferios se inclina hacia el Sol, aumentando la duración de los días al tiempo que los rayos del Sol caen menos oblicuos, entonces la temperatura es alta. Cuando la misma inclinación aleja al hemisferio del Sol, la duración de los días es menor y los rayos más oblicuos; entonces se produce el período estacional inverso, con temperaturas bajas.

En las zonas templadas las estaciones están ligadas a una variación cíclica de la temperatura media, que va de un verano caliente, pasando por los valores intermedios del otoño, a un invierno frío, y luego desde las temperaturas medias de la primavera de nuevo al verano. Las dos grandes bandas templadas que rodean la Tierra entre los 30° y los 70° al norte y al sur, incluyen una serie de subzonas relativamente diferenciadas, cada una con sus variantes particulares del ciclo de temperaturas de las estaciones. Estas regiones han recibido gran cantidad de nombres, pero los más sencillos son los de regiones templadas cálidas, frescas y frías.

Tales regiones progresan en el norte y en el sur desde el Ecuador hacia los polos. Cada una de ellas experimenta cíclicamente sus propios patrones estacionales de variación de temperatura, pero la gama de temperaturas es diferente de unas zonas a otras. Esta amplitud variable del cambio de temperatura es de particular importancia para las plantas, porque el crecimiento de casi todas ellas, incluyendo las que tienen hojas, tallo y flores, cesa por debajo de los 6 °C. Resulta pues que la proporción anual de días con temperatura superior a este límite constituye, en sentido estricto, el período potencial de crecimiento de las plantas de la zona. Por su parte, la duración de este período de crecimiento ha de ser un determinante fundamental del aumento de la cantidad de plantas —el producto básico de cualquier zona— en un año dado. Cuanto mayor sea el período de crecimiento, mayor cantidad habrá de materia vegetal nueva, y este esfuerzo productivo constituye la única ampliación neta de material orgánico en las comunidades animales y vegetales. En las zonas templadas cálidas es donde la temperatura media del mes más frío del año no desciende por debajo del límite mágico de crecimiento de 6 °C.

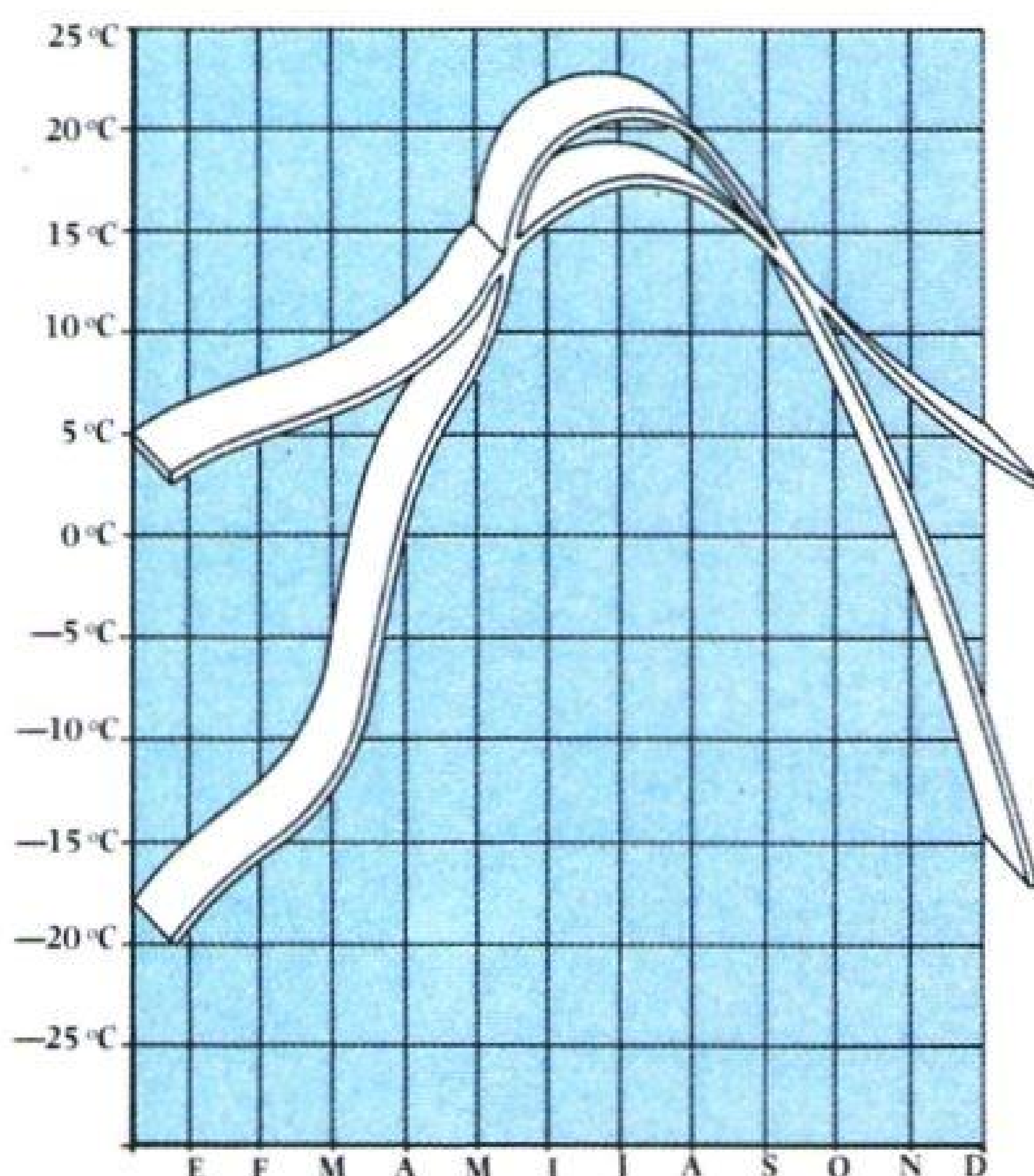
Aproximándonos hacia los polos topamos con las regiones templadas frescas, que incluyen algunas de las naciones más ricas y desarrolladas del mundo; así, en tal área del hemisferio norte tenemos la mayor parte de EE.UU, el sur de Canadá, casi toda Europa, el sur de Rusia y el norte de China y Japón. Apenas hay territorios templados fríos en el hemisferio sur, y mucho se ha especulado sobre si la actual coincidencia

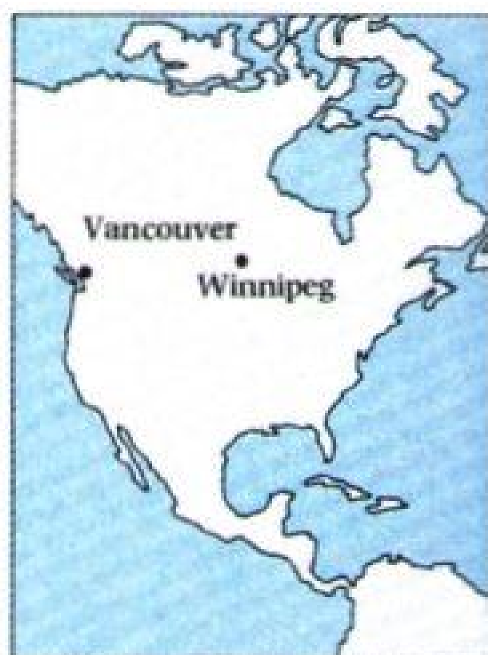


Japón, a diferencia de otros países templados, tiene seis estaciones, tres húmedas y tres secas. El monzón de invierno, las lluvias bai-u de junio y las lluvias shurin de finales de verano; todas ellas seguidas por un período seco.



La campanilla de las nieves, *Galanthus nivalis*, conocida en Gran Bretaña como «la hermosa doncella de febrero», emerge de la nieve que se va fundiendo a finales de invierno. Anuncia la transición hacia la primavera templada de días más largos y renovado crecimiento vegetal.





Las temperaturas fluctúan más tierra adentro que en las zonas costeras. En Winnipeg, encajonada por la tierra, las temperaturas anuales oscilan entre los −20 °C y los 20 °C; en Vancouver, caldeada por el calor almacenado en el océano, rara vez descienden de los 3 °C.

de un estatus económico desarrollado y unas condiciones climáticas específicas es algo casual. En la zona templada fría, al menos un mes al año la temperatura desciende por debajo de los 6 ºC, pero tal situación nunca pasa de los cinco meses. Este período de heladas constituye el verdadero invierno, que, con propiedad, no puede decirse que exista en la zona templada cálida, y que se caracteriza por la interrupción del crecimiento de las plantas.

Limitando por una parte con la zona templada fresca y por la otra con la tundra sin árboles de las regiones polares se halla la zona templada fría. Aquí es normal que 6 de cada 12 meses tengan temperaturas inferiores a los 6 ºC. Los ecosistemas naturales de esta zona no incluyen árboles de hoja caduca de tamaño corriente, tan sólo variedades diminutas o trepadoras, predominando enormes extensiones de coníferas perennes.

El aspecto climático preponderante en las zonas templadas es la variación cíclica estacional de la temperatura. Por el contrario, lo típico de las regiones tropicales de la Tierra son temperaturas altas permanentes y variaciones de la lluvia. En la zona que media entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, el Sol queda justamente encima al menos un día al año. Como, dejando aparte las variaciones locales, en esta zona tropical hace calor todo el año, la variación provocada por la temperatura en el crecimiento de las plantas apenas tiene importancia cerca del Ecuador, al contrario que en las zonas templadas. En vez de eso, las variaciones estacionales que puedan darse se derivan de la cantidad de agua disponible, dividiéndose el año en estaciones calientes secas y calientes húmedas.

Los animales y las plantas de las zonas templadas, para sincronizar sus actividades más importantes entre sí mismos y con las condiciones climáticas adecuadas, responden a los cambios de temperatura o a las alteraciones notables de la duración de los días a lo largo del año. A primera vista podría parecer improbable que los animales de los trópicos en general, o los del Ecuador en particular, presentasen una conducta estacional semejante a la de sus parientes de las zonas templadas. Las razones serían la ausencia de variación estacional marcada, tanto de la temperatura ambiente como de la luz, lo que implica una ausencia de claves externas definidas a las que ligar la actividad estacional. Pero en el Ecuador la mayoría de los animales sigue mostrando una fuerte distribución estacional de sus actividades.

En los trópicos, la conducta estacional de los animales puede ser el resultado de unas actividades anuales instintivas, o puede estar ligada directa o indirectamente a claves estacionales externas como la lluvia. En muchas de estas regiones se dan cambios en la cantidad de lluvia predecibles en gran medida, existiendo amplias diferencias en el patrón de las lluvias. En las zonas más próximas al Ecuador la variación estacional de la lluvia es pequeña, pero la cantidad total de lluvia sobre el territorio es grande. Ahí, en esas zonas tórridas y de humedad constante, es donde se desarrolla el auténtico bosque tropical no sujeto a cambios estacionales: la selva. Esta se va fundiendo con los bosques periféricos más estacionales, donde las etapas algo secas del año tienen una notable repercusión en el desarrollo de las plantas, pues al restringirse la cantidad de fotosíntesis el crecimiento se ve afectado en igual medida.



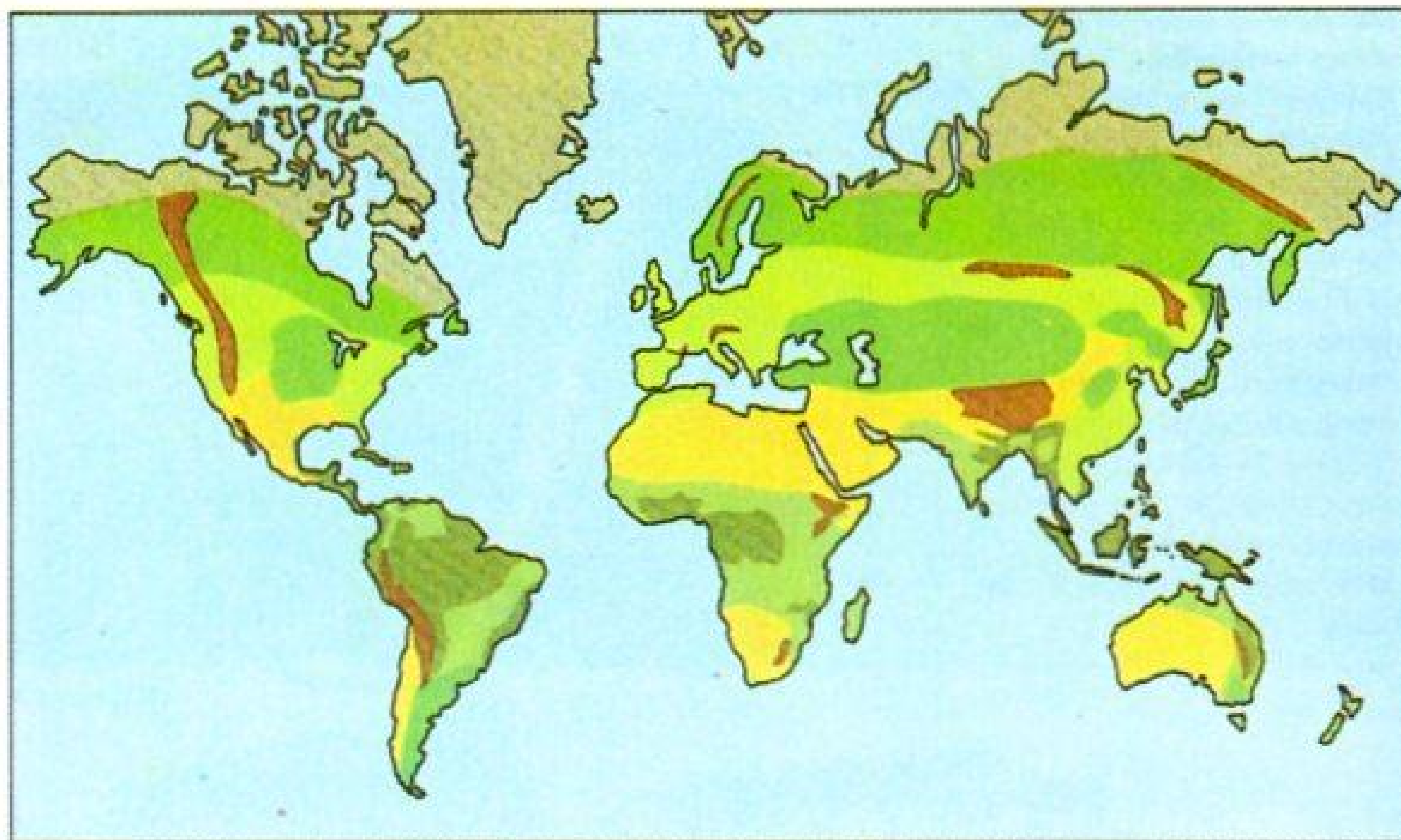
En muchas partes de los trópicos, aunque no en todas, el ciclo climático anual consta de dos períodos relativamente húmedos y dos relativamente secos. Estos altibajos en el caudal de lluvia son los que desencadenan la mayor parte de la conducta claramente estacional de los animales y plantas tropicales. La cantidad total de lluvia que cae en determinado enclave tropical durante la estación húmeda depende de diversos factores, de los que la distancia con respecto al mar y la altitud son los más importantes. Por regla general, las estaciones húmedas lo son más en lugares próximos al mar, al recibirse allí el aire marino cargado de agua. De modo similar, cuanto más alta esté una zona sobre el nivel del mar tanto menor será el número de meses secos, y mayor la cantidad de agua en cada período de lluvias. La razón es que el vapor de agua se condensa más fácilmente en gotitas líquidas, a las bajas temperaturas reinantes a gran altura. Estas variaciones dentro de los trópicos implican transiciones espectaculares entre las estaciones húmedas y secas de las zonas bajas, sobre todo en las de vegetación tipo sabana, donde la cantidad de lluvia anual es escasa. Las variaciones estacionales son aquí asombrosas, pues la lluvia catapulta el paisaje de la noche a la mañana, desde su inactividad y letargo árido y reseco hasta el pleno crecimiento vegetal y una intensa actividad de los animales.

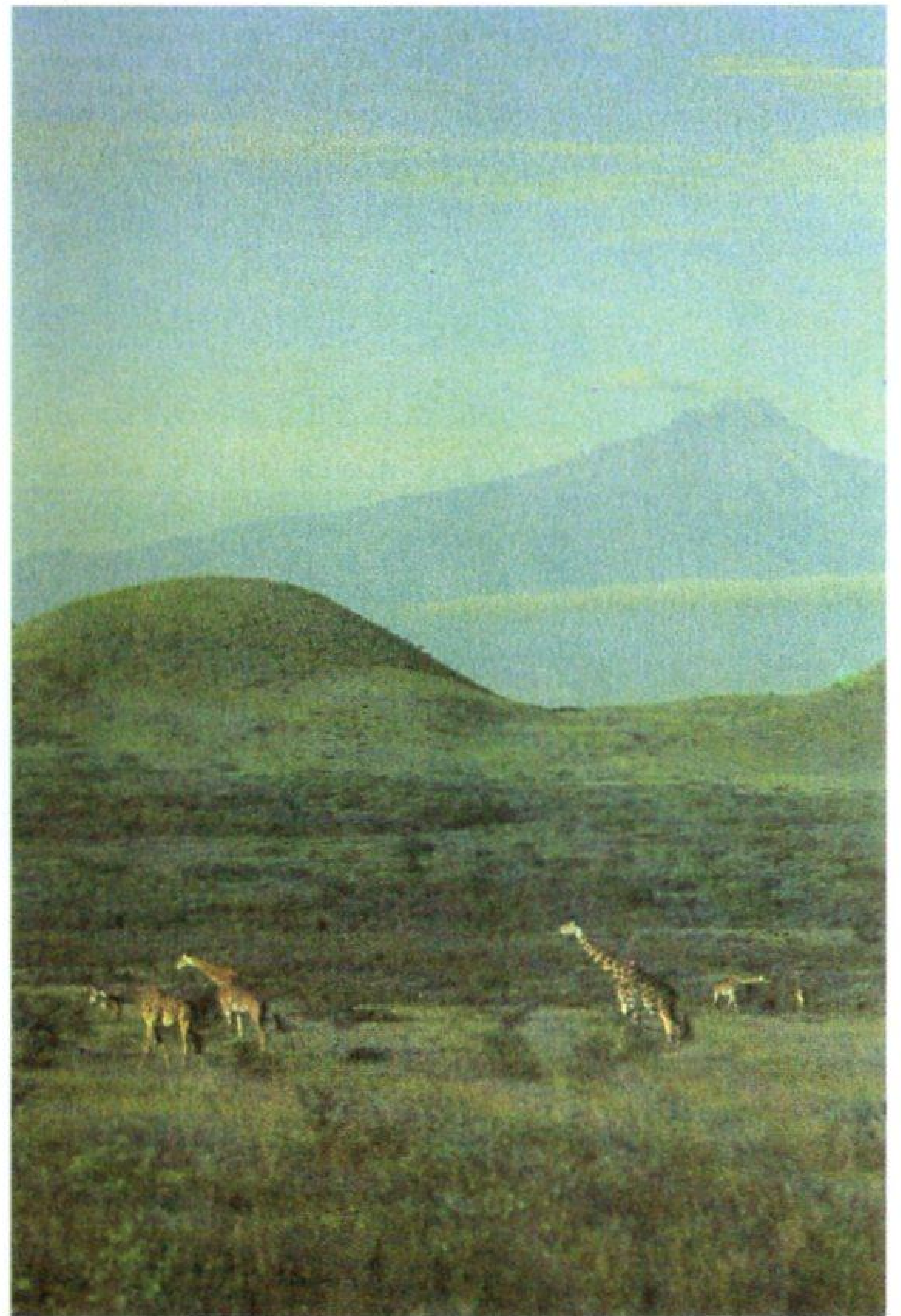
Las causas del patrón bianual de las lluvias tropicales son imputables, como tantas otras variaciones estacionales, al eje de rotación inclinado de la Tierra. Como este eje tiene una orientación constante, la zona de lluvias de los trópicos sigue a lo largo del año el movimiento aparente del Sol: primero hacia el norte, luego hacia el sur y de nuevo hacia el Norte. Lo mejor para describir el cinturón de lluvias es recurrir a un enclave concreto, como, por ejemplo, el este de Africa. Aquí las lluvias se producen en zonas de convergencia de las masas de aire cargadas de agua. El aire se eleva en estas zonas, se enfría al expandirse a presión más baja y se condensa en lluvia.

La más importante de dichas zonas en lo que se refiere al este de Africa es la zona de convergencia intertropical o zona ecuatorial de bajas presiones, muy relacionada con el Ecuador tórrido. En ella los gigantescos sistemas de los alisios tropicales de ambos hemisferios se encuentran de frente. Si nuestro planeta fuese liso y perfectamente esférico, como una bola de billar, esta convergencia ocasionaría una faja en torno al globo que seguiría el movimiento aparente del Sol. La combinación de masas de tierra firme y océanos de la actual superficie terrestre hace que el curso exacto de la zona de convergencia resulte mucho más tortuoso. A pesar de todo, ésta se asienta a horcajadas sobre Africa, y una vez al año sube y baja por el centro de dicho continente.

El movimiento de la zona de convergencia basta para explicar el rompecabezas del doble período de lluvias. En cualquier punto de los trópicos la lluvia se asocia probablemente con la doble travesía de la zona de convergencia sobre dicha área, una vez en dirección norte y otra en dirección sur.

Al norte del círculo ártico y al sur del equivalente antártico, las estaciones están ligadas al tercer gran determinante ecológico: la luz. El año polar se divide, en proporciones diferentes según la latitud, en períodos de luz o de oscuridad continuas. En las regiones polares, la afirmación de que el Sol es la fuente de toda vida en la Tierra se hace





Las estaciones tropicales están más controladas por la lluvia que por la temperatura. Los bosques húmedos del Ecuador experimentan sólo variaciones muy ligeras de intensidad de la lluvia. Sin embargo, a ambos lados los enormes cinturones de pradera y sabana tropicales presentan estaciones húmedas y secas extremadas. Los vientos alisios secos soplan aquí de junio a octubre y en enero y febrero, acarreando la sequía, *izquierda*. La lluvia es mínima, la humedad existente se evapora velozmente y el sol achicharra. Los animales se apiñan en los escasos pozos de agua y arañan la abrasada pradera ocre en busca de alimento. En noviembre y diciembre y de marzo a mayo las bandas de bajas presiones traen lluvias y transforman el paisaje casi de la noche a la mañana, *derecha*. Los cauces resecos se convierten en torrentes, la tierra muerta y agrietada se humedece y vuelve a ser fértil. En pocos días las matas de hierba quemada, como paja, son sustituidas por nueva vegetación verde. Dada la repentina abundancia de excelente pasto, los animales se dispersan y comienzan a reproducirse, posibilitando así que sus crías crezcan y se desarrollen en las mejores condiciones, antes de que la siguiente estación seca devaste la tierra.

Los ocho tipos principales de vegetación reflejados con gran precisión en las zonas climáticas de la Tierra trazan unos patrones latitudinales irregulares sobre la superficie. La selva, la estepa y el desierto son creados por los sistemas meteorológicos.

Estas dos vistas del parque nacional de Tsavo en el sudeste de Kenia revelan la extraordinaria oscilación estacional de la sabana tropical. El mismo paisaje de la *izquierda* ocre y abrasado por el Sol en la estación seca se transforma espectacularmente con las primeras lluvias, *derecha*.

patente con las apariciones y desapariciones del Sol que duran meses y meses. Cuando reina la oscuridad, la vida animal y vegetal se sume en un profundo letargo. A la llegada del día permanente se sigue una actividad frenética, que permite a los organismos cumplir velozmente con sus procesos reproductivos, y almacenar suficientes reservas de comida para mantenerse durante los meses de oscuridad.

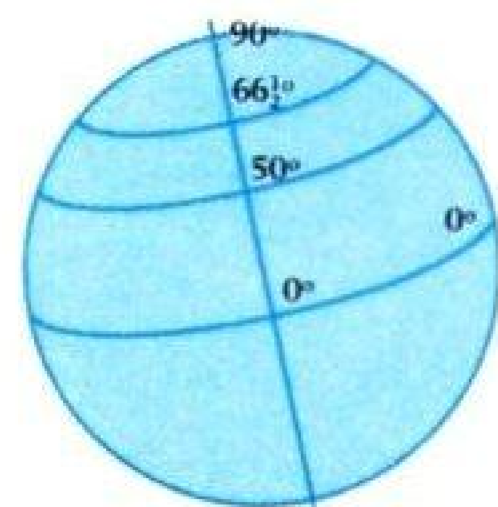
Algunas de las claves más definidas y claras producidas por la máquina del tiempo tienen lugar en diversas regiones tropicales. La transformación abrupta, casi instantánea, de un desierto árido y reseco en una esplendorosa extensión de flores, bullente de insectos, no es una señal que pueda ser fácilmente ignorada por el resto de las criaturas. Pero por más claro que sea, tal estímulo no puede constituir una referencia temporal exacta, debido a su propia naturaleza. De modo similar, las transiciones climáticas fundamentales de las zonas templadas de latitud media se producen más o menos por las mismas fechas cada año. Los vendavales de otoño comienzan, como su propio nombre indica, en otoño, pero unos años pronto y otros tarde, o incluso pueden no producirse. La última noche de heladas del año, un acontecimiento clave para cualquier jardinero serio que tenga que transplantar unos preciados y frágiles especímenes, no se puede señalar con antelación, y hasta puede ocurrir ya bien entrado el verano.

Los aconteceres meteorológicos aportan indicaciones aproximadas de la época del año, pero dado el importante papel que juega la casualidad en el patrón del tiempo de determinado punto de la superficie, tales mensajes pueden resultar falsos. El hecho de que las señales del código de la lluvia, la temperatura y los vientos puedan aportar información falsa sobre las estaciones, implica que animales y plantas no pueden fiarse exclusivamente de tales signos para estructurar sus actividades. Pero en cualquier caso se ha de encontrar pareja, la reproducción ha de estar sincronizada, se han de construir nidos, y los capullos han de formarse y abrirse cuando es debido. Una mala estimación temporal, una extrapolación equivocada de un tiempo cálido anormal a principios de la primavera, o de una helada prematura a finales de verano, podrían dar al traste con el éxito de la reproducción animal, o con una abundante producción de semillas.

Dada la inexactitud que conllevan las predicciones basadas en el tiempo, una información exacta y consistente es de vital importancia para los seres vivos. ¿Cómo pueden los organismos organizar su vida estacional con una precisión casi mágica? La respuesta nos la da un término: fotoperiodicidad. Aunque suene muy científico, tan sólo significa duración variable de los días. No se trata de nada esotérico ni complicado, es sólo que en latitudes templadas el día —es decir el número de horas de Sol— dura más en verano que en invierno.

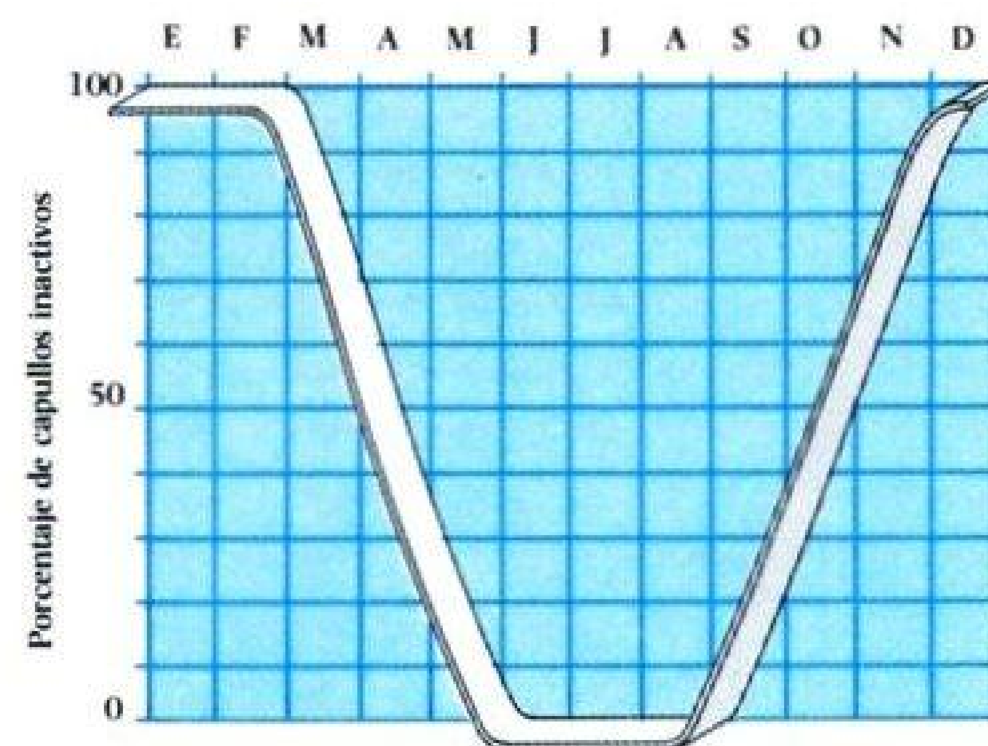
La transición desde las 16 horas de duración del día en pleno verano hasta las 8 horas de mediados de invierno no es repentina ni abrupta, al igual que ocurre con el cambio inverso en la duración de la noche. La duración del día sigue un ciclo de alteraciones, suave y rítmico, que va desde el máximo en el solsticio de verano hasta el mínimo del solticio de invierno, y otra vez hacia un nuevo máximo estival. Para trazar la suave curva del cambio hacen falta cronómetros y un registro muy exacto, pero para apreciar la realidad no se necesita ningún sentido científico. Cualquier habitante de Europa, América del Norte o Japón ha

El número de horas de Sol es para animales y plantas un cronómetro estacional. A medida que la Tierra, inclinada, gira en torno al Sol, sólo el Ecuador experimenta siempre un día de 12 horas. Cuando mayor es la latitud, las variaciones de la duración del día son más extremas. En los polos, el día fluctúa entre 24 horas de luz en verano y ninguna en invierno.

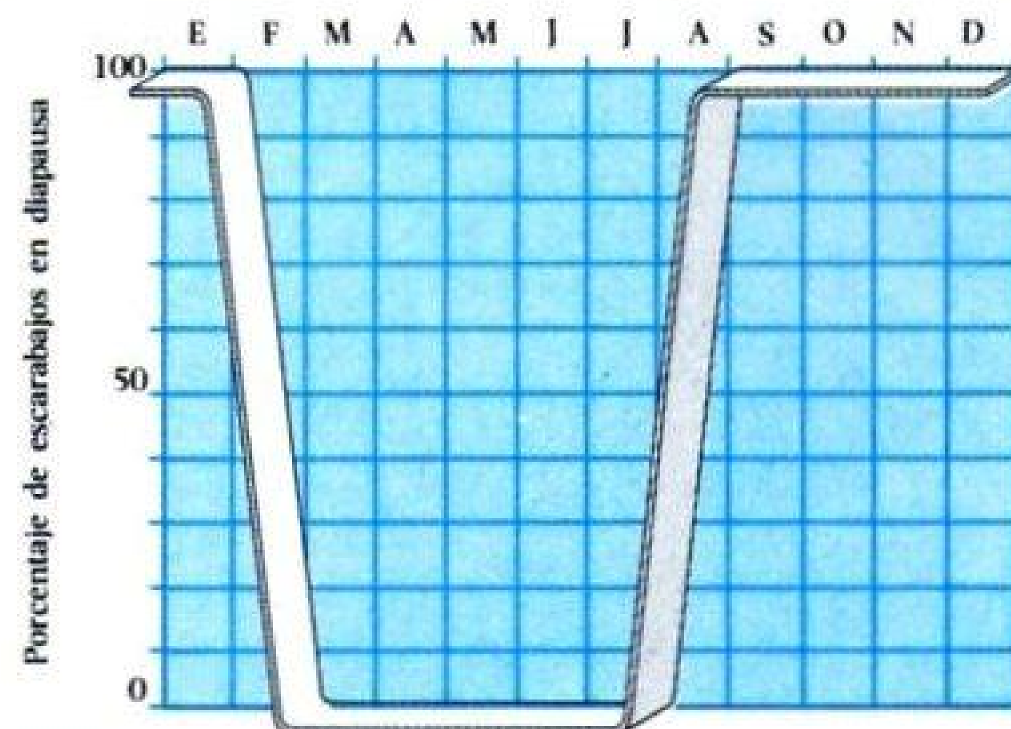


Latitud	Duración máxima del día	Núm. de días de duración máxima	Duración mínima del día	Núm. de días de duración mínima
90°	24	189	0	176
66½°	24	1	0	1
50°	$16\frac{1}{4}$	7	$7\frac{3}{4}$	6
0°	12	183	12	182

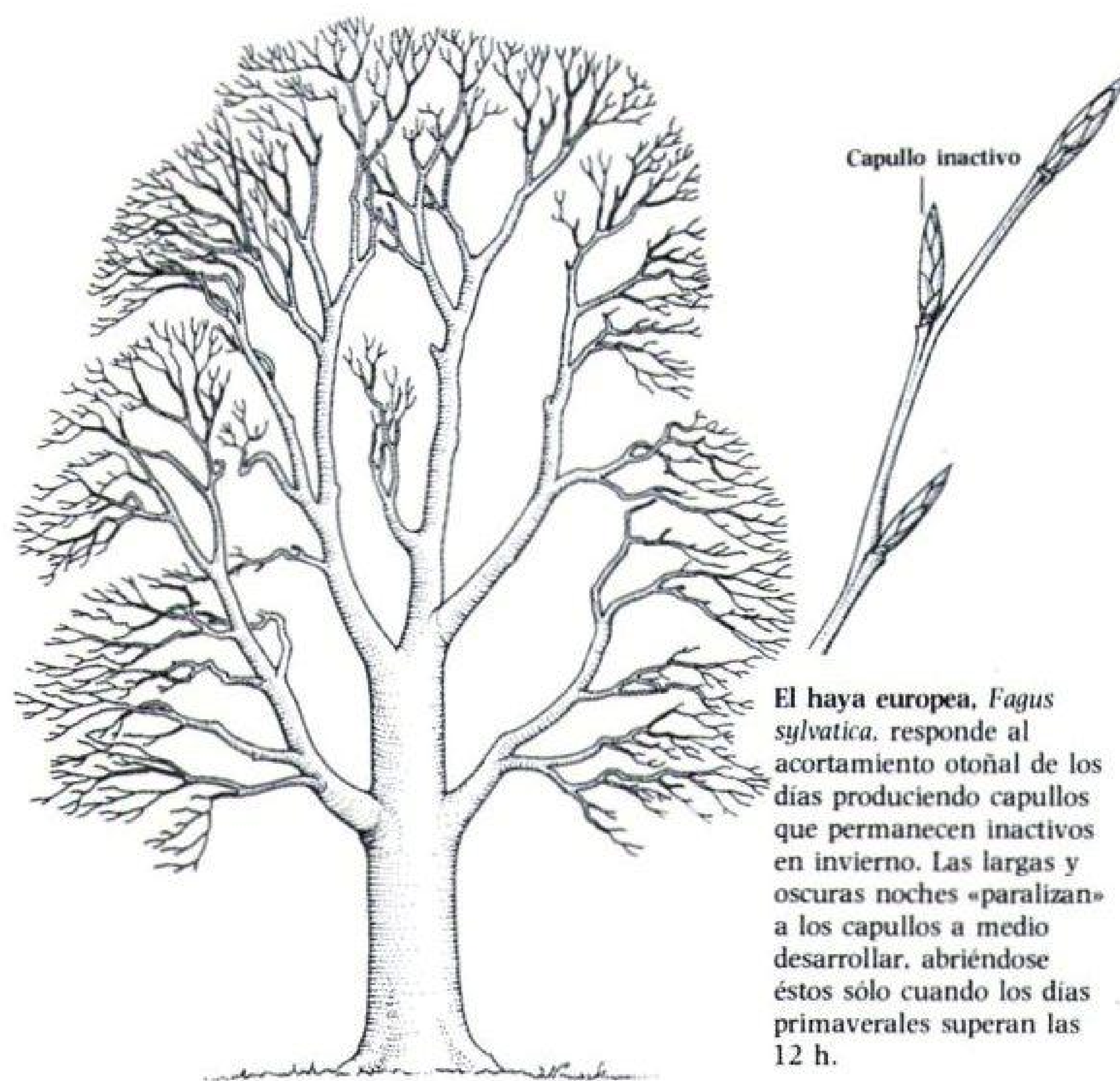
Los árboles caducos de las zonas templadas han de elaborar yemas bien protegidas, con las que reemplazar en su día las hojas que caen en otoño. Las hojas y los tallos rudimentarios, inactivos dentro de la yema, emergerán a la primavera siguiente cuando la yema se abra. La duración variable de los días provoca la producción, el despliegue y la caída de las hojas.



La actividad anual del escarabajo de la patata, *Leptinotarsa Decemlineata,* está gobernada por el número de horas de luz. Este parásito de la patata sólo se reproduce, crece y se desarrolla en verano, cuando hay más de 14 horas de luz. En cuanto a finales de verano y en otoño el día se acorta y cae por debajo de este nivel vital, el escarabajo entra en estado de inactividad.







El haya europea, *Fagus sylvatica,* responde al acortamiento otoñal de los días produciendo capullos que permanecen inactivos en invierno. Las largas y oscuras noches «paralizan» a los capullos a medio desarrollar, abriéndose éstos sólo cuando los días primaverales superan las 12 h.

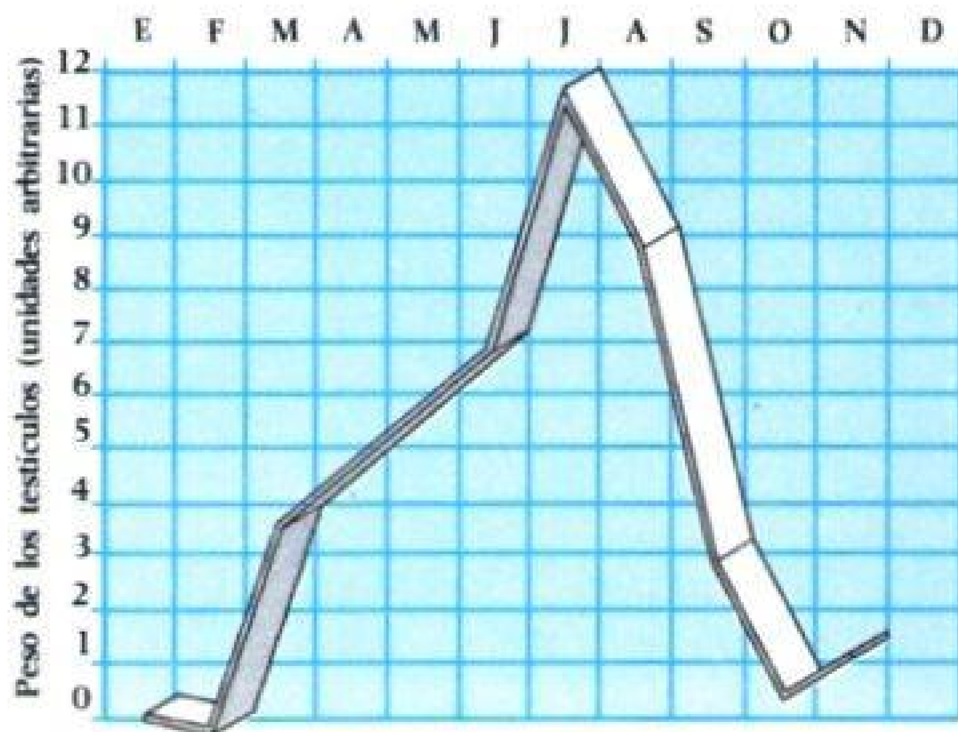
experimentado las tardes largas y balsámicas del verano, y los días cortos y deprimentes del invierno cuando el Sol está bajo, y parece que la primavera no va a llegar nunca.

Quizá fue la propia mudanza del cambio estacional de la duración de los días lo que hizo que botánicos y fisiólogos tardaran en darse cuenta de que este cambio del entorno, habitual y generalizado, es una de las claves más importantes para la ordenación temporal de la vida de los organismos. El hecho de que la periodicidad sea normal y pueda percibirse en todas partes es fundamental para comprender por qué la duración del día es la señal temporal externa conforme a la que los seres vivos estructuran de manera eficaz su actividad estacional. A diferencia del tiempo, la velocidad o dirección de los vientos, o la temperatura, la duración de los días en ningún caso puede confundirse o distorsionarse. Para modificar la señal habría que parar los movimientos planetarios de rotación y traslación de la Tierra. El que la duración absoluta del día solar haya aumentado constantemente en el transcurso de miles de millones de años es irrelevante. Los cambios son tan pequeños, quizás una milésima de segundo por siglo, que toda planta o animal ha tenido tiempo más que de sobra para evolucionar y ajustarse a esas diminutas alteraciones.

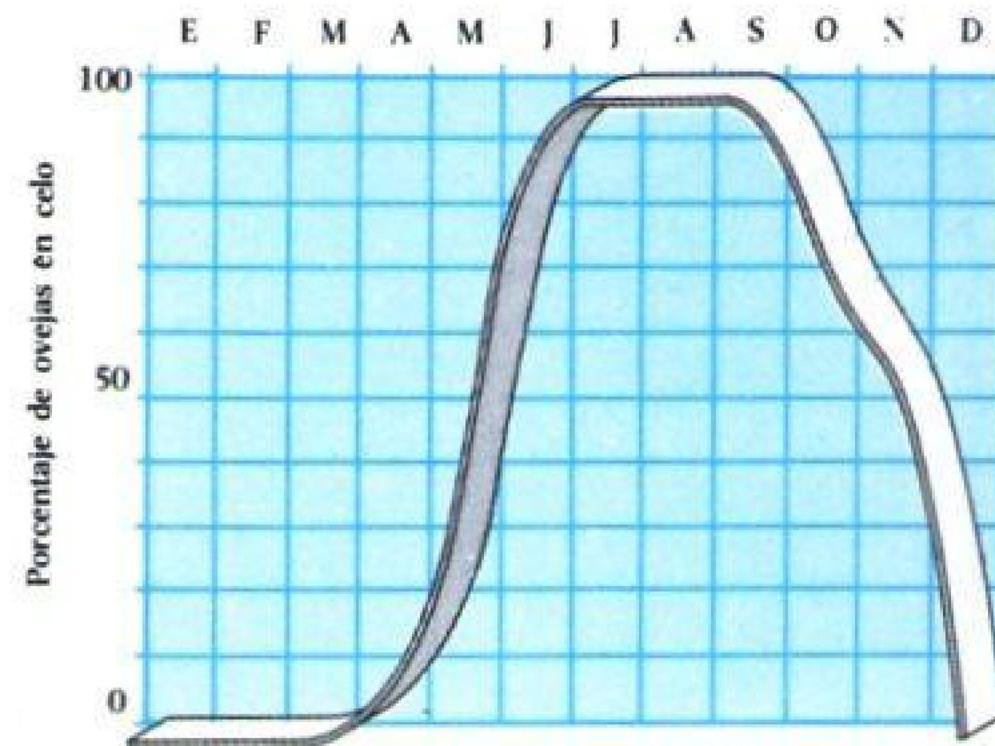
Excepto unas pocas especies subterráneas, las que habitan en cuevas o en abismos oceánicos, los animales pueden ver las enormes diferencias de intensidad de la luz entre el día y la noche. Día a día pueden asimilar el total de las horas de luz o de oscuridad, recogiendo información sobre la duración absoluta del día, y sobre si aumenta o disminuye. El proceso puede parecer simple, pero en realidad el sistema incluye sutilezas y cuidadosas precauciones estratégicas. Los días encapotados no deben crear confusión en cuanto a las horas de luz, siendo necesario un exacto sentido biológico interno del tiempo. Con toda esta información computada, un animal en un clima templado puede estructurar sus actividades biológicas dentro de un orden lógico y eficaz. La mayoría de estos animales concentra su actividad y reproducción durante los cálidos meses de finales de primavera, verano y principios de otoño, calculando el cortejo y el apareamiento de modo tal que las crías nazcan cuando se dan las condiciones más favorables para su supervivencia. En invierno los animales —si no evitan los excesos climáticos emigrando a zonas más cálidas— normalmente reducen su actividad para conservar tanta energía corporal como sea posible, dedicándose simplemente a obtener un mínimo de comida que les permita sobrevivir.

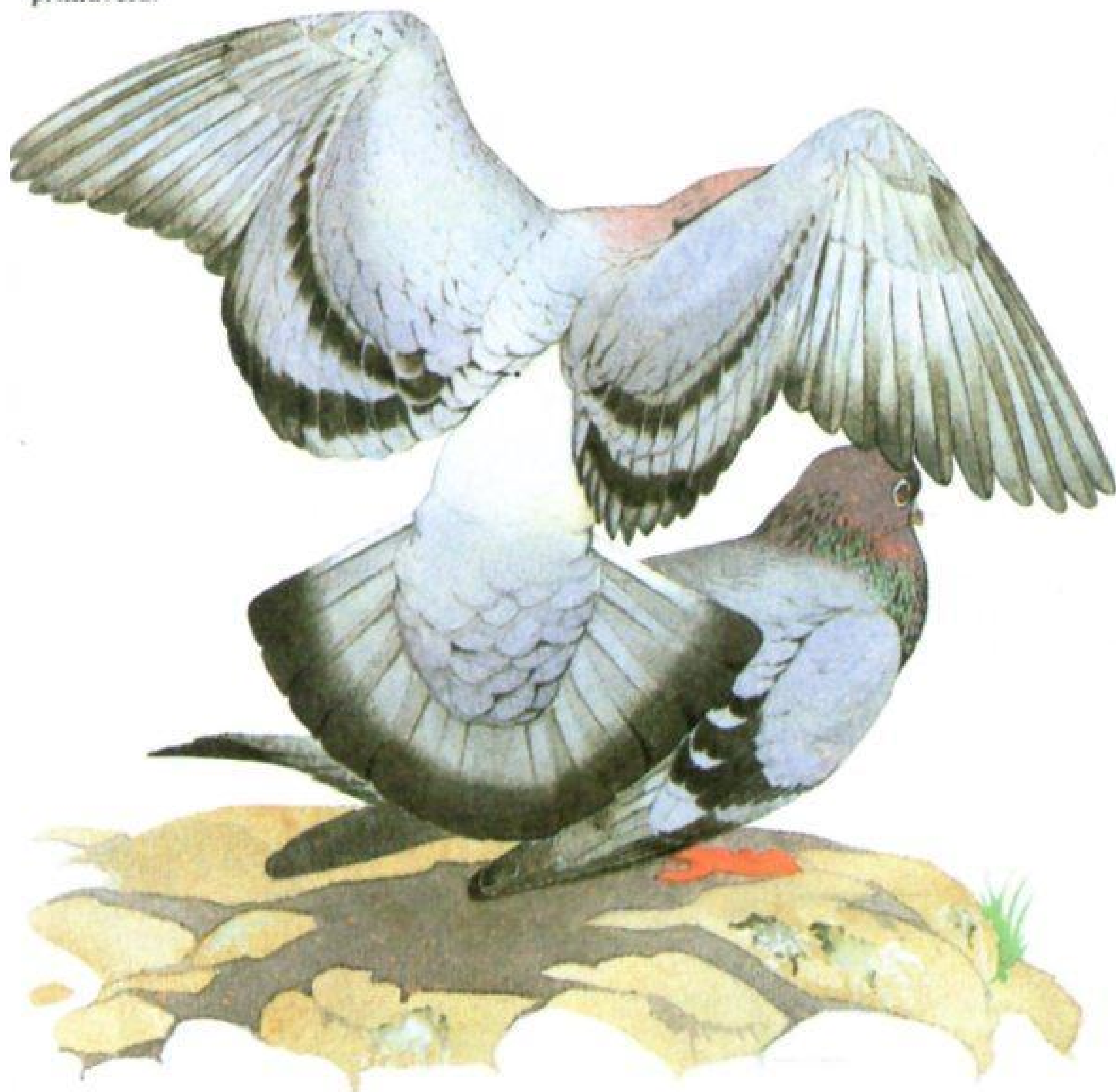
Este patrón de cambio general del repertorio de actividades de los animales ofrece, cuando está firmemente ligado a la duración externa de los días, otras ventajas que van más allá de la vida del individuo. Si todos los miembros de una especie usan la común duración del día como resorte para el inicio del desarrollo sexual, del cortejo y del apareamiento o la confección del nido, esto tendrá inevitablemente una fuerte repercusión sobre la sincronización del celo para todos los animales de la especie. En un clima de latitudes medias, con sus violentas variaciones estacionales, la ajustada sincronización de los esfuerzos de reproducción es de necesidad para la conservación de la especie. No ocurre así en los ecosistemas tropicales, de mayor estabilidad climática.

El macho de la paloma bravía, *Columba livia,* experimenta, como la mayoría de los pájaros, un abultamiento y una disminución de sus órganos sexuales. Los días crecientes de la primavera activan cambios hormonales que ocasionan un espectacular aumento de los testículos, equipándose así el pájaro para el celo. Tras la cría, realizado el trabajo, los testículos vuelven a encogerse hasta la primavera.



La época de reproducción de los corderos coincide con la aparición, en primavera, de hierba nueva que ha de mantener a la población de ovejas en aumento. El ciclo sexual comienza a finales de verano, cuando los días, que se acortan, estimulan los ovarios de las ovejas y la producción de esperma en los carneros. En no más de cuatro meses se produce el apareamiento y las crías nacen a la primavera siguiente.







Al igual que el hombre, otros animales usan los ojos para captar información sobre la duración del día y el cambio fotoperiódico. Lo que no es tan obvio es que una planta —ya sea un hierbajo o una secoya gigante— también controle la variación del período de noche y día a lo largo del año. De hecho, la vida de una planta se centra mucho más en la luz que la de un animal. El proceso vital de la fotosíntesis, por el que milagrosamente se construye materia orgánica a partir de gas y agua, y en torno al que gira el resto de las actividades de la planta, es activado por la luz del sol. Sin duda sería extraño que las plantas no pudieran captar minuto a minuto los niveles de luz cambiantes en el mundo que las rodea; de hecho las plantas verdes no sólo los perciben y reaccionan ante ellos, sino que también pueden medir el tiempo.

Las plantas son estáticas comparadas con los animales que pueden desplazarse a grandes o diminutos pasos. Una planta con hojas tiene que estarse en el mismo sitio y aguantar lo que le echen en materia de variaciones climáticas estacionales. En invierno un animal puede trasladarse a una cueva, a un nido o a un lugar resguardado para reducir la cantidad de calor que pierde su cuerpo. En el desierto, al mediodía, desaparecerá por una madriguera o se esconderá a la sombra de una roca, para obtener la ventaja contraria y aumentar su pérdida de calor. Estos son movimientos de adaptación a pequeña escala comparados con los de escala gigante. Nos referimos a las migraciones, movimientos masivos de toda una especie que recorre a veces medio globo para evitar total o parcialmente las vicisitudes del clima. Una planta de latitud media no cuenta con tales posibilidades, así que ha de captar exquisitamente, de manera excepcional y clave, su localización temporal en el transcurso de las estaciones. Cada día debe actuar de manera eficiente de acuerdo con las condiciones dominantes, pero también tiene que estar preparada para la siguiente e inevitable fase del cambio ambiental. Pase lo que pase, la planta o el brote han de sobrevivir esos cambios estacionales puesto que no pueden trasladarse.

La época de crecimiento de una planta coincide con el período o períodos del año en que el nivel de las variables ambientales de luz, agua y temperatura es el adecuado para que se produzcan nuevas células en las plantas, posibilitando así el crecimiento. Este comienza en la mayoría de las plantas cuando los niveles de temperatura pueden sostener una actividad metabólica, y cuando el metabolismo activo dispone de agua suficiente. El inicio del crecimiento de diversos tipos de plantas verdes puede significar tipos de cambio muy distintos. Puede tratarse de la germinación de una semilla, y del rápido desarrollo del embrión de planta alojado en su interior, hasta convertirse en una plantita de semillero y más tarde en una planta adulta. O puede que se trate de la eclosión de los capullos, adquiriendo las células activas (primordios) de hojas y tallos, que yacían en miniatura desde la estación anterior, su tamaño funcional máximo. El crecimiento puede comenzar en partes menos visibles, por ejemplo, bajo tierra en los bulbos, tubérculos y rizomas. Una vez formadas las nuevas partes exteriores de la planta seguirán creciendo y, en última instancia, producirán estructuras de reproducción, generalmente flores y frutos, pero también estructuras menos llamativas en plantas «primitivas» como las algas, musgos y helechos. Esto se mantiene hasta que las condiciones exteriores descienden por debajo de alguno de los límites necesarios.

El ciclo de la vida del maíz de la panoja. *Zea mays*, está muy sincronizado con la estación húmeda tropical. Originario del trópico americano, el grano de esta famosa hierba se ha convertido en una cosecha anual vital en muchas zonas climáticas. Los voluminosos granos se siembran a comienzos de la estación húmeda; al humedecerse se hinchan, y germinan desarrollando raíces y un brote. La planta llega a medir 1,8 m. y produce a la punta erizadas flores masculinas portadoras de polen, y penachos más pequeños de flores femeninas que surgen de una panoja en el nacimiento de las hojas. Tras la polinización cruzada, las panojas se desarrollan y maduran dejándose secar al Sol. El grano, madurado en la estación seca, puede ser sembrado al volver las lluvias.



La germinación comienza una vez que la raíz estabilizadora rompe la cáscara de la semilla. Utilizando las reservas alimenticias de dos cotiledones, las hojas de la judía acaban emergiendo a la luz.

Inflorescencia masculina
Inflorescencia femenina
Panoja
Panoja en desarrollo
Panoja en maduración
Farfolla
Granos
Semilla
Raíz estabilizadora
Panojas secánd

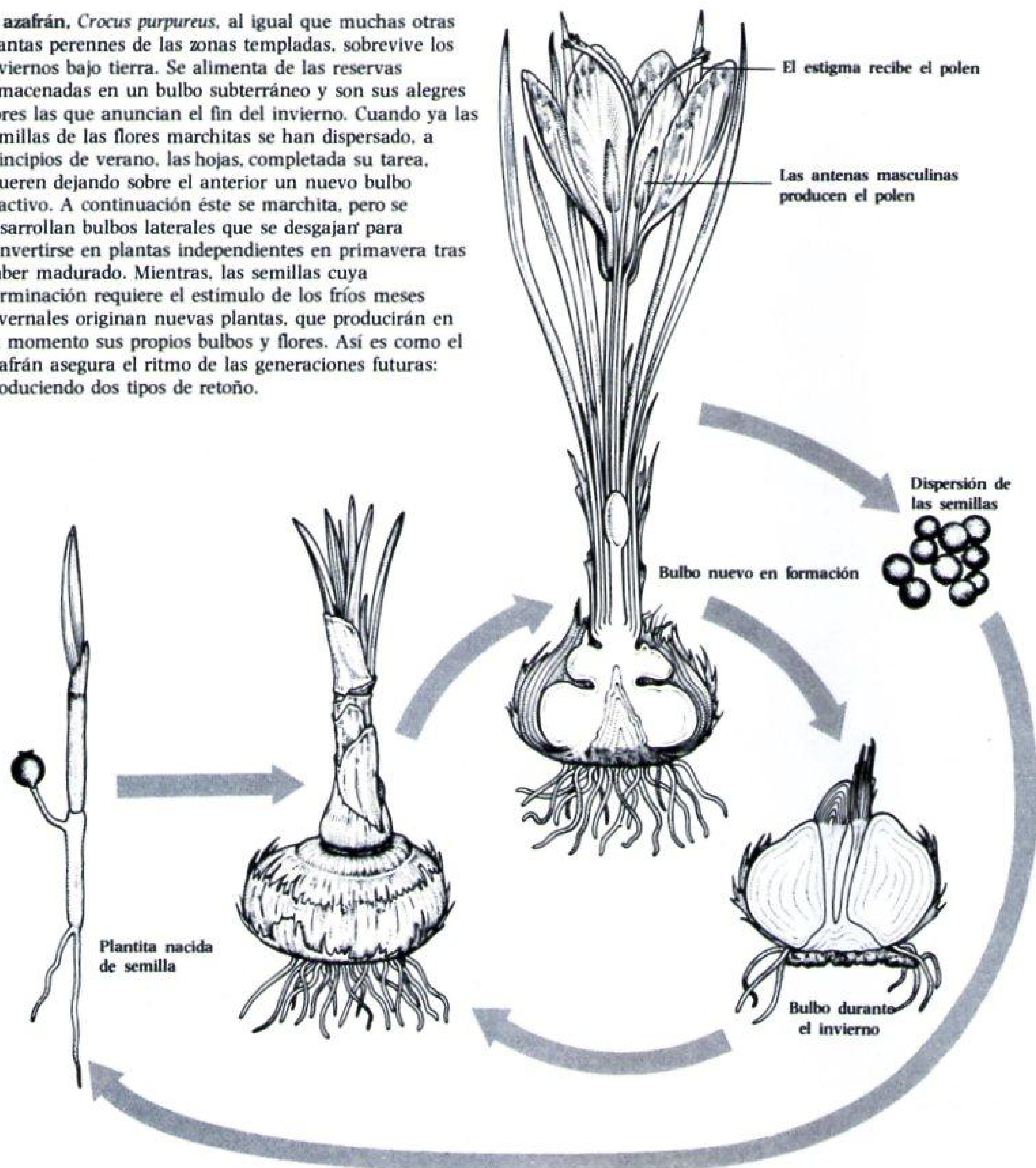
La temporada desfavorable para el crecimiento de las plantas no coincide en todo el mundo. En las zonas templadas Norte y Sur, las condiciones hostiles para la actividad vegetal están normalmente relacionadas con el frío. Al comenzar el invierno las temperaturas medias descienden demasiado, impidiendo el crecimiento. En las zonas tropicales y subtropicales (excepto en las cumbres), la temperatura no es nunca aisladamente el factor que se opone, sino el agua, cuya ausencia hace del hábitat un lugar inhóspito, interrumpiendo pues las plantas sus actividades hacia el inicio de la estación seca. En resumen, las plantas tienen que ser capaces de adaptarse de la manera más eficaz al patrón cíclico del cambio climático estacional, aunque tal adaptación varía de las zonas templadas a las tropicales. Como quiera que fuere la adaptación, siempre hay una fase del ciclo anual que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, y otra que lo impide.

Para solucionar este problema del cambio estacional las plantas han adoptado estrategias de vida extraordinariamente diferentes. Las plantas anuales, que incluyen casi todas las especies herbáceas, son las que crecen rápidamente de semillas que germinan al inicio de la temporada de crecimiento, y que alcanzan muy pronto la madurez reproductora y producen semillas, todo ello en unos pocos meses como mucho. En forma de semillas resistentes pueden sobrevivir el período de peligro, ya se trate de calor achicharrante o de frío intenso. Suelen ser plantas de pequeño tamaño, sin tejidos leñosos, que a menudo se obligan a cumplir numerosos ciclos de semilla-planta-flor-semilla, en una única temporada de crecimiento.

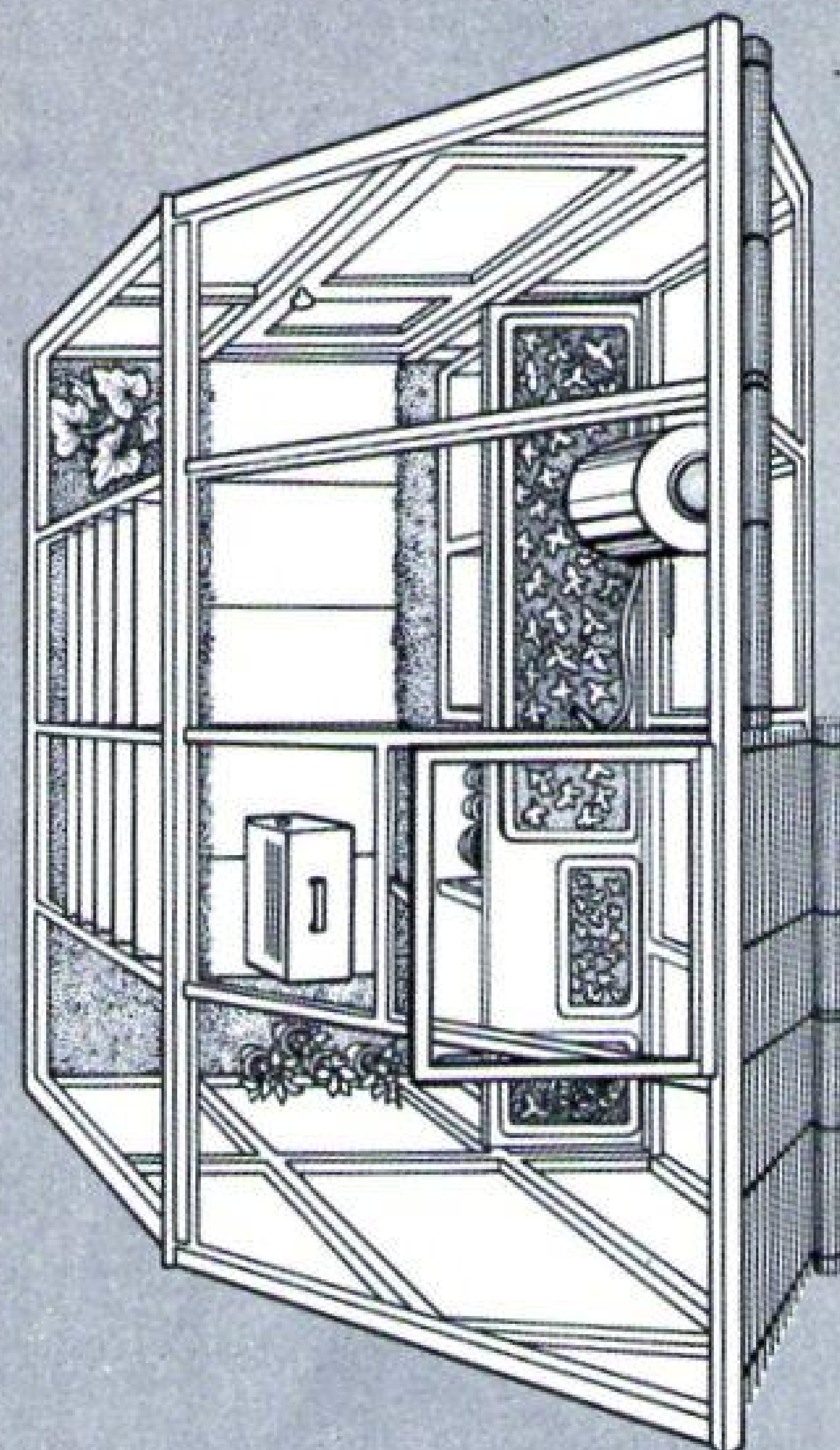
Las plantas perennes leñosas, los arbustos, matojos, árboles y muchas de las plantas trepadoras, tienen una estructura permanente de troncos y ramas de madera al aire libre que resisten muchos inviernos o estaciones secas. Sin embargo, durante esos períodos de inactividad, muchas especies de árboles de la zona templada, tales como el roble, el haya y el arce, todos ellos de hoja caduca, se despojan de todas sus hojas funcionales. A principios de la siguiente época de crecimiento los capullos inactivos se abren y exponen las hojas nuevas que, durante una sola estación, servirán para obtener comida por fotosíntesis. Para finales de temporada el árbol o el arbusto habrá producido una cosecha de semillas y también los nuevos capullos para pasar el invierno.

Las herbáceas perennes no leñosas resisten la estación dura, bien con una pequeña cantidad de follaje inactivo de superficie, bien por medio del almacenaje de órganos subterráneos, como bulbos, raíces engrosadas, tubérculos o rizomas. La primavera marca el comienzo del crecimiento de estas plantas —que, por cierto, funcionan como órganos de reproducción no sexual— con la rápida aparición de hojas, tallos y flores nuevos sobre la superficie.

Aunque los inviernos y estaciones secas suponen condiciones duras para las plantas, éstas los utilizan como parte esencial dentro de su patrón de desarrollo. Por ejemplo, en las regiones templadas frescas y en las frías, las semillas de las rosáceas que incluyen la manzana, la pera, el albaricoque y el melocotón, además de las rosas propiamente dichas, han de experimentar un frío intenso antes de germinar. Este proceso constituye una buena precaución dentro del ciclo de la planta, pues evita que una racha inesperada de tiempo suave engañe a las semillas producidas durante la temporada de crecimiento, y las haga



El azafrán, *Crocus purpureus*, al igual que muchas otras plantas perennes de las zonas templadas, sobrevive los inviernos bajo tierra. Se alimenta de las reservas almacenadas en un bulbo subterráneo y son sus alegres flores las que anuncian el fin del invierno. Cuando ya las semillas de las flores marchitas se han dispersado, a principios de verano, las hojas, completada su tarea, mueren dejando sobre el anterior un nuevo bulbo inactivo. A continuación éste se marchita, pero se desarrollan bulbos laterales que se desgajan para convertirse en plantas independientes en primavera tras haber madurado. Mientras, las semillas cuya germinación requiere el estímulo de los fríos meses invernales originan nuevas plantas, que producirán en su momento sus propios bulbos y flores. Así es como el azafrán asegura el ritmo de las generaciones futuras: produciendo dos tipos de retoño.



El invernadero es el desafío del horticultor al orden natural. Las condiciones controlables le permiten cultivar combinaciones de plantas de zonas templadas y tropicales, que si no serían imposibles. Las variables naturales de luz, temperatura, humedad y nutrición mineral se pueden seleccionar y controlar automáticamente con la mayor precisión, lo que permite al horticultor reconstruir toda una variedad de condiciones y hábitats. Mientras fuera persisten los ritmos normales de la vida, dentro del invernadero se simulan una serie de climas, estaciones, suelos y períodos de crecimiento, de forma suficientemente convincente como para que la planta responda.

germinar justo antes del invierno. De modo similar, las semillas de algunas plantas tropicales y subtropicales han de atravesar un largo período seco de acondicionamiento, antes de poder germinar.

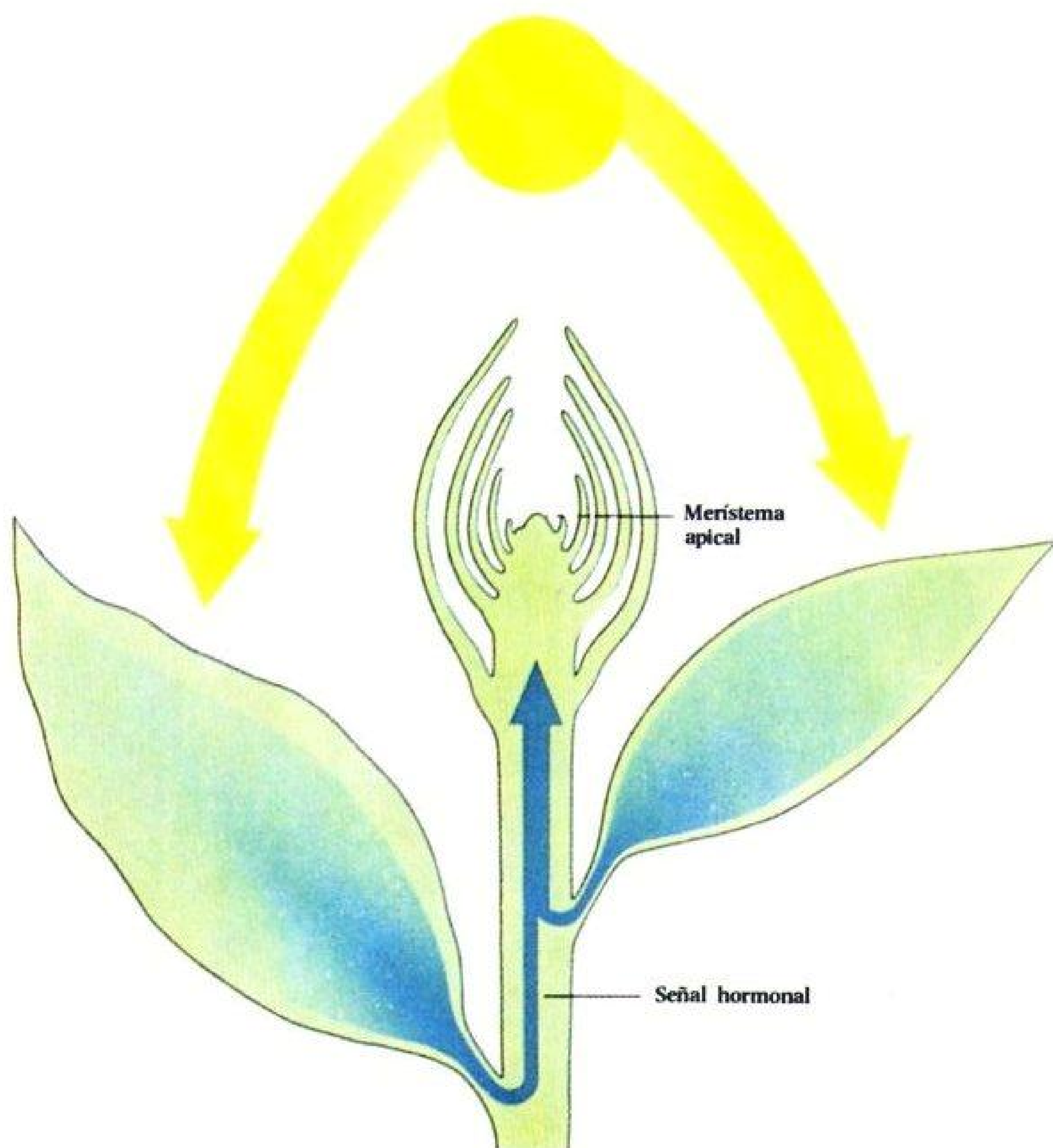
No tiene nada de raro el que las plantas se entreguen a una reproducción sexual. Las plantas se sirven del sexo y las flores son órganos sexuales. En el mundo vegetal, las flores son el tipo más sofisticado de órganos sexuales, dándose una asombrosa variedad, que se amplía al abarcar diversos perfumes y colores. Funcionalmente las flores pueden dividirse en dos grupos: aquellas cuya polinización la realizan agentes físicos —generalmente el viento, pero a veces la lluvia y en raras ocasiones las corrientes de agua— y aquellas que utilizan a los animales como polinizadores. Por todo el mundo, abejas, avispas, hormigas, mariposas, polillas, moscas, escarabajos, babosas, pájaros, murciélagos e incluso ratones y zarigüeyas marsupiales son usados por las fanerógamas como inocentes pero bien dispuestas parejas en el proceso de la polinización. Alentados por alguna recompensa, que puede ser recoger polen, beberse el néctar o incluso, en el caso de algunas avispas macho, el incontenible deseo de copular con una orquídea cuya forma y olor corresponden a los de su compañera, todos esos animales acaban por trasladar el polen a otras flores, obteniéndose así la fertilización cruzada de las plantas.

Es posible que tanto las partes masculinas como las femeninas del aparato reproductor de la planta, los estambres, que producen polen, y los ovarios, respectivamente, existan ambos en una sola flor, aunque normalmente sigue siendo necesaria la fertilización cruzada para que se produzcan semillas. Las partes masculinas y femeninas pueden estar separadas, correspondiendo a diferentes flores de la misma planta, o pueden estar totalmente aisladas, en cuyo caso la especie se divide en plantas masculinas y plantas femeninas. Ello explica por qué sólo los acebos femeninos, *Ilex*, producen las llamativas bayas rojas, sinónimo de navidad, y por qué sólo los especímenes masculinos del arbusto garrya de Norteamérica exhiben un ostentoso despliegue de amentos productores de polen.

La flor es el ápice muy modificado de una rama corta, de un tallo o de una ramita. De hecho se acepta de manera general que los pétalos de las flores y los sépalos que los rodean y que son normalmente verdes, pero también pueden ser de colores y con forma de pétalo como los del tulipán, son hojas especializadas, lo cual aporta la clave del origen de las flores. En todas las plantas con flores, el crecimiento de nuevos tallos y brotes se debe a la producción de células nuevas que se concentra en una zona pequeña pero muy activa en el ápice del brote. Esos puntos de bullente actividad son los meristemas. Al final de cada tallo con hojas, un meristema produce células nuevas, que crecen y se alargan, diferenciándose en tipos particulares de células, incluyendo las que forman los tejidos de las hojas nuevas.

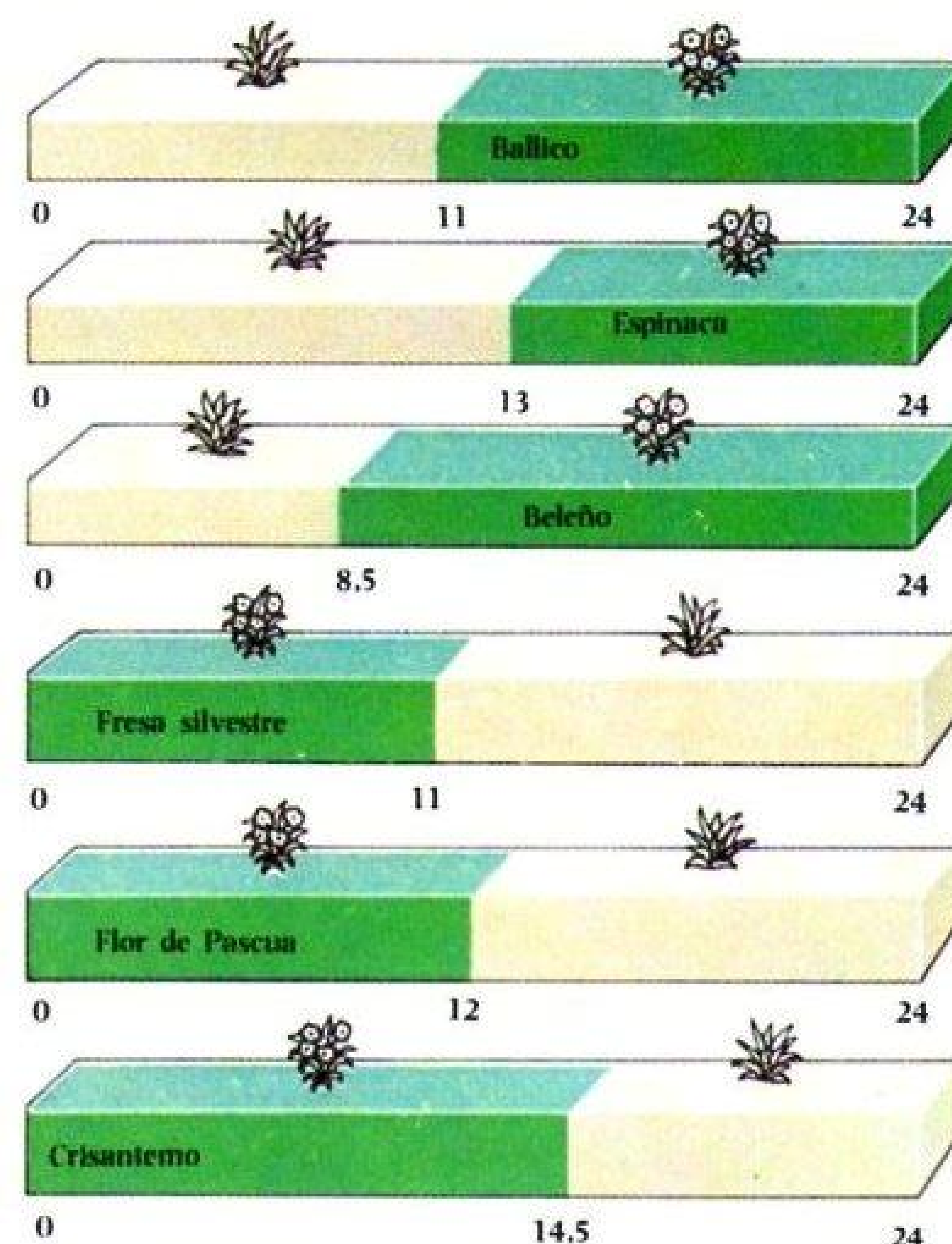
El desarrollo de los capullos tiene lugar cuando determinada señal hormonal hace que los meristemas comiencen a producir células de flor en vez de células de brotes de hojas. El estímulo fotoperiódico, al ejercer un control tan riguroso sobre la síntesis de tales hormonas —y de algunas otras formas más sutiles— rige a su vez los períodos de floración. Muchas especies de fanerógamas producen flores, comenzando así su vida reproductora sólo tras haber captado una cierta duración

La floración de las plantas es activada por un determinado número de horas de luz. Las hojas adultas perciben e interpretan los cambios fotoperiódicos, y con esta información originan una amplia gama de procesos fisiológicos. Patrones concretos de luz y oscuridad estimulan señales químicas internas, que se trasmiten al meristema apical de la planta, y le hacen producir flores en lugar de brotes foliares. Aunque la mayoría de las plantas no florecen si no captan las claves solares pertinentes, hay algunas que dependen exclusiva o parcialmente de otros factores como la temperatura o la humedad.

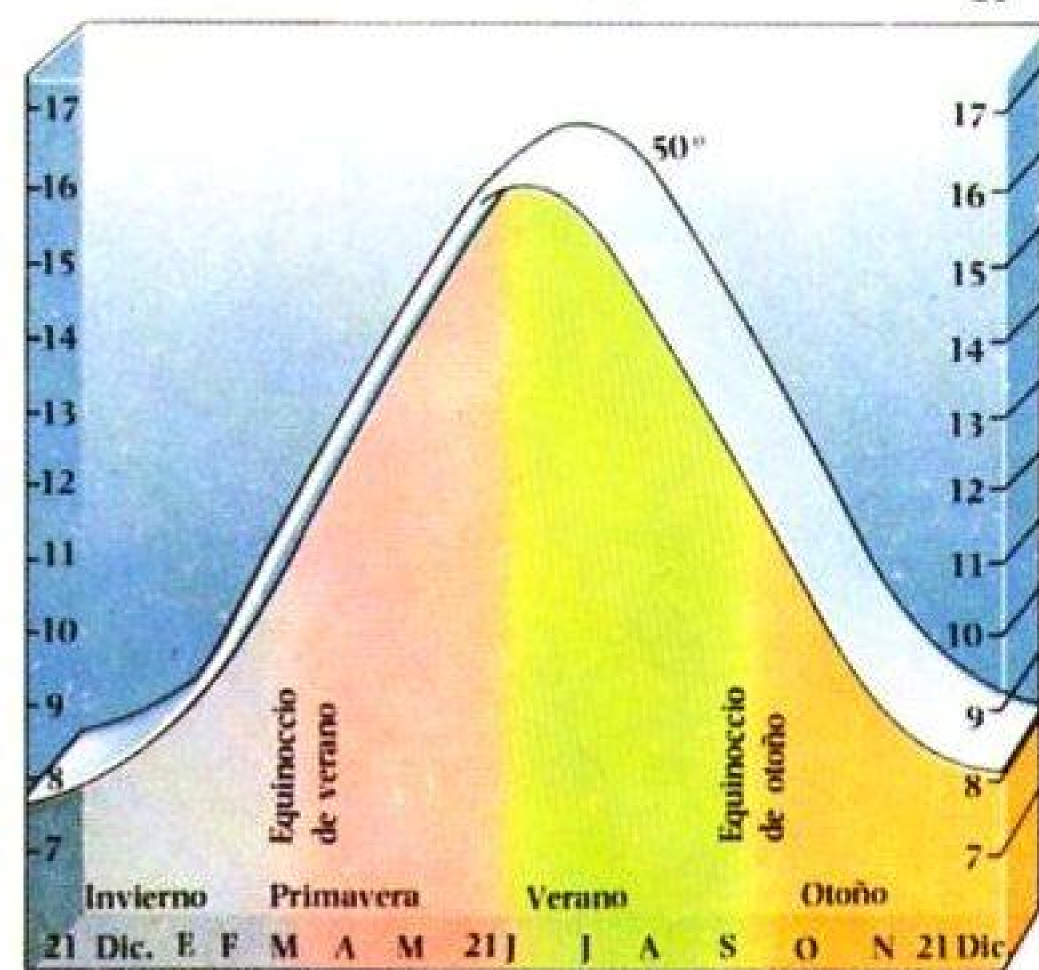


Las plantas de día largo, como la espinaca, el ballico y el beleño, son tales porque florecen en los días que se alargan en primavera. Cada planta responde a un fotoperíodo exacto, y sólo cuando el día dura más que dicho fotoperíodo florecen estas plantas.

Las plantas de día corto responden al acortamiento de los días hacia finales de verano y en otoño. Por ejemplo, la flor de pascua *Euphorbia pulcherrima*, sólo florece cuando el día tiene menos de 12,5 h. de luz. Las semillas se producen cuando hay polinizadores activos y cuando las condiciones son las más favorables para su desarrollo.



Como las variaciones anuales de la duración del día dependen de la latitud, la fecha concreta en la que una planta alcanza su fotoperíodo de floración crítico depende de donde crezca. Por ejemplo, la fresa salvaje florece al acortarse los días hasta las 11 horas. A 50° al norte del Ecuador (Winnipeg, Canadá; Finisterre, Inglaterra), esto ocurre en octubre, mientras que a 20° norte (Ciudad de México) no florecería hasta el 21 de diciembre.



de los días o, sobre todo, de las noches. Parece ser que son las hojas las que reaccionan ante la duración de los días y las noches, al percibir los cambiantes patrones de intensidad de la luz ocasionados por la traslación de la Tierra. Actuando a modo de antenas, las hojas miden el fotoperíodo y en cuanto se da la duración adecuada del día se producen señales hormonales que inauguran la producción de flores. Dado que el factor clave para el desarrollo de las flores lo constituye la duración del día, y no el tiempo atmosférico, los jardineros pueden calcular casi exactamente cuándo florecerán algunos de sus especímenes; las exposiciones florales se fechan a menudo teniendo esto en cuenta.

Algunos de los experimentos fundamentales que demostraron que la fotoperiodicidad juega un papel vital en el control de la vida de organismos longevos se llevaron a cabo en primer lugar sobre plantas. En 1920 dos científicos, Garner y Allard, que trabajaban en el Departamento de Agricultura de EE.UU., se dieron cuenta por primera vez del estrecho vínculo entre la duración del día y la floración. Estaban investigando una variedad de planta de tabaco, *Nicotina tabacum*, que llevaba el rimbombante nombre de «mamut de Maryland». Las plantas florecían sólo durante los días cortos de invierno sin importar cuándo hubiesen sido plantadas las semillas. Garner y Allard llevaron a cabo experimentos que se han convertido en modelos de investigación, cubriendo algunas «mamut de Maryland» parte del día en verano. Esta manipulación tan sencilla y airosa bastó para confundir a las plantas, que creyendo que había llegado el invierno, florecieron antes de tiempo.

Matando dos pájaros de un tiro, se demostró así que por lo menos el crecimiento de esas plantas estaba regido por la duración del día, y que esta duración era el elemento de control fundamental, el que predominaba sobre las otras claves. Los especímenes que estaban plantados en sus campos en verano experimentaban temperaturas estivales, pero esta señal fue ignorada porque la señal fotoperiódica decía lo contrario. Otros experimentos han demostrado que es posible producir el efecto inverso; se podía evitar que las plantas de tabaco florecieran en invierno, prolongando el supuesto día con luz artificial. Estas importantes investigaciones de hace más de medio siglo originaron una revolución conceptual del pensamiento botánico y agrícola. Tuvieron también una grandísima repercusión práctica y económica, pues mostraron con claridad asombrosa que los agricultores podían manipular con relativa facilidad el período de floración de algunas cosechas.

Estudios posteriores han revelado que las plantas con flor pueden dividirse en tres categorías, de acuerdo con su respuesta en términos de floración a la duración variable de los días. La planta del tabaco «mamut de Maryland» es un ejemplo de planta de días cortos, pues son éstos y las noches largas lo que induce a tales especies y variedades a producir flores, mientras que los días largos y las noches cortas inhiben la floración. Las plantas de día largo, al contrario, sólo florecen cuando los días son largos y las noches cortas; si no, la floración se inhibe. La última categoría comprende las plantas de «duración de día neutra» que parecen ser capaces de florecer en cualquier circunstancia de luz. Los girasoles, dientes de león y tomates funcionan así.

Durante la fase de la evolución humana en que el hombre era cazador y recolector, fase que abarca desde hace unos 10.000 años hasta el origen del hombre entre los grandes monos de Africa hace unos tres

La lluvia provoca la explosión vegetal de este desierto australiano.

El bambú chino, *Thamnocalamus spathaceus*, florece una vez cada cien años y a continuación muere. Otras especies de bambú duran 10, 20 o incluso 120 años, antes de florecer todas las plantas a la vez, en un extraordinario alarde de coordinación. Tras la floración, los tallos mueren, pero quedan las raíces y las semillas para producir nuevas plantas. Desgraciadamente, el panda gigante es una víctima reciente del espaciado florecimiento del bambú chino, su alimento básico, que se ha extinguido.



millones de años, las semillas y los frutos debieron ser un componente fundamental de su dieta omnívora.

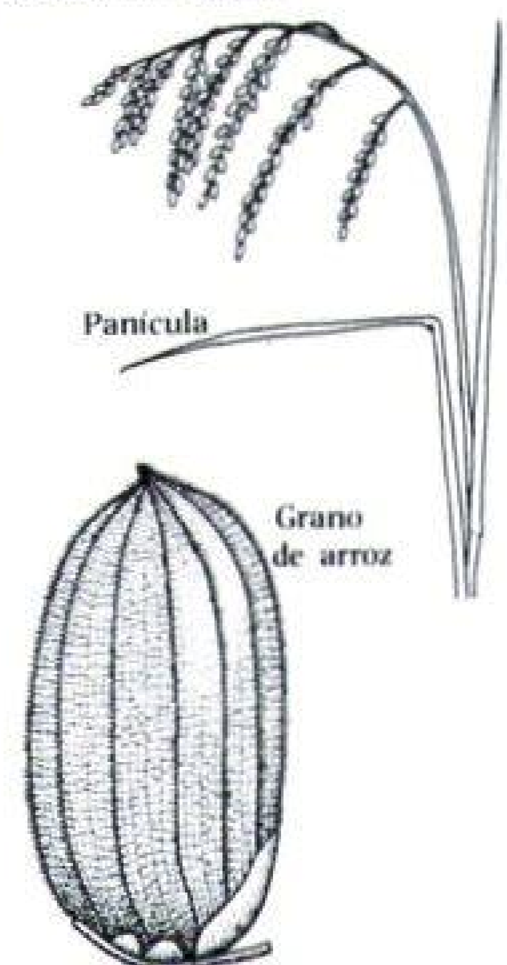
¿Por qué esas estructuras vegetales, que desde la perspectiva de la planta son retoños protegidos en embrión, son tan importantes como alimento? La respuesta es que generalmente están colmadas de elementos nutritivos, que usará el embrión de la planta cuando la semilla empiece a germinar. Al principio de esta activación y germinación la plantita, primero dentro de la cubierta de la semilla y luego fuera tras la eclosión, resulta muy vulnerable en lo que se refiere a las reservas de comida. Es muy probable que su fase de crecimiento explosivo se desarrolle al principio bajo tierra o bajo hojas caídas, en otras palabras en completa oscuridad. En esta situación dispone de agua, pero al no haber luz la fotosíntesis no puede tener lugar. A diferencia de sus parientes mayores, ya afianzados, no puede producir nuevos elementos nutritivos por sí misma. Igualmente, hasta que no haya desarrollado un sistema de raíces funcionalmente eficaz, no puede recoger del agua del suelo las sales minerales vitales para su bioquímica.

Para salvar esas dos dificultades iniciales, proporcionando una oportunidad de afianzarse a la plantita, la mayoría de las semillas contienen grandes reservas de elementos nutritivos concentrados, que incluyen féculas, grasas, aceites y ricas mezclas de proteínas, como las que se encuentran en guisantes, judías y otras legumbres, así como en los frutos secos. Así pues, la semilla en tanto en cuanto dispone de un complemento de catalizadores bioquímicos o enzimas en su propio interior, que le permiten digerir y movilizar esos alimentos además de un poco de agua, puede crecer y desarrollarse sin luz y sin apenas acceso a las sales minerales. Durante los primeros días de vida, el sistema de alimentación de la plantita pasa lenta y gradualmente de la dependencia de dichas estructuras internas a la independencia alimenticia. El abandono definitivo de la comida almacenada —ya casi agotada por otra parte— sobreviene con la fotosíntesis de las primeras hojas de la semilla, o cotiledones, y después con la de las hojas propiamente dichas que pueden abastecer las necesidades alimenticias de la planta, ayudadas por las salas minerales y el agua extraída por las raíces recién formadas.

Del mismo modo en que atraen a los animales para provocar el proceso de polinización, las plantas también seducen a las criaturas para que actúen como distribuidores de semillas, envolviendo las pequeñas semillas, duras y discretas, en frutas pulposas llamativas, chillonas, jugosas y de sabor dulce. Como ocurre con la polinización existe un toma y daca entre plantas y animales que se ha generado evolutivamente. El animal obtiene la recompensa del alimento y las vitaminas de la fruta a cambio de dispersar las semillas resistentes e indigeribles con su envoltura dura, que bien se tiran, se escupen o, si se tragan, atraviesan el intestino intactas. Las semillas que recorren todo el intestino de un animal antes de ser depositadas no sólo son transportadas sin más a un nuevo entorno donde crecer, sino que son depositadas en su propia parcela de abono orgánico: las heces animales ricas en nitrógeno. La eficacia de este emparejamiento entre el reino vegetal y el animal queda patente en las abundantes cosechas de plantas de tomate que brotan todos los años en el fango, junto a las alcantarillas.

Hace unos 10.000 años, en varios puntos del globo las sociedades

La cosecha del arroz, a principios de la estación seca, es quizás el acontecimiento más importante del año en los trópicos, pues de ella se alimenta más de medio mundo. En 1973 se produjeron 320 millones de toneladas de arroz, de las cuales 15 millones provenían de Tailandia, *izquierda*. El éxito de la cosecha lo celebran como el año nuevo muchos cultivadores de arroz asiáticos. Algunos realizan un ritual que simboliza la unión perfecta de dos granos de arroz.



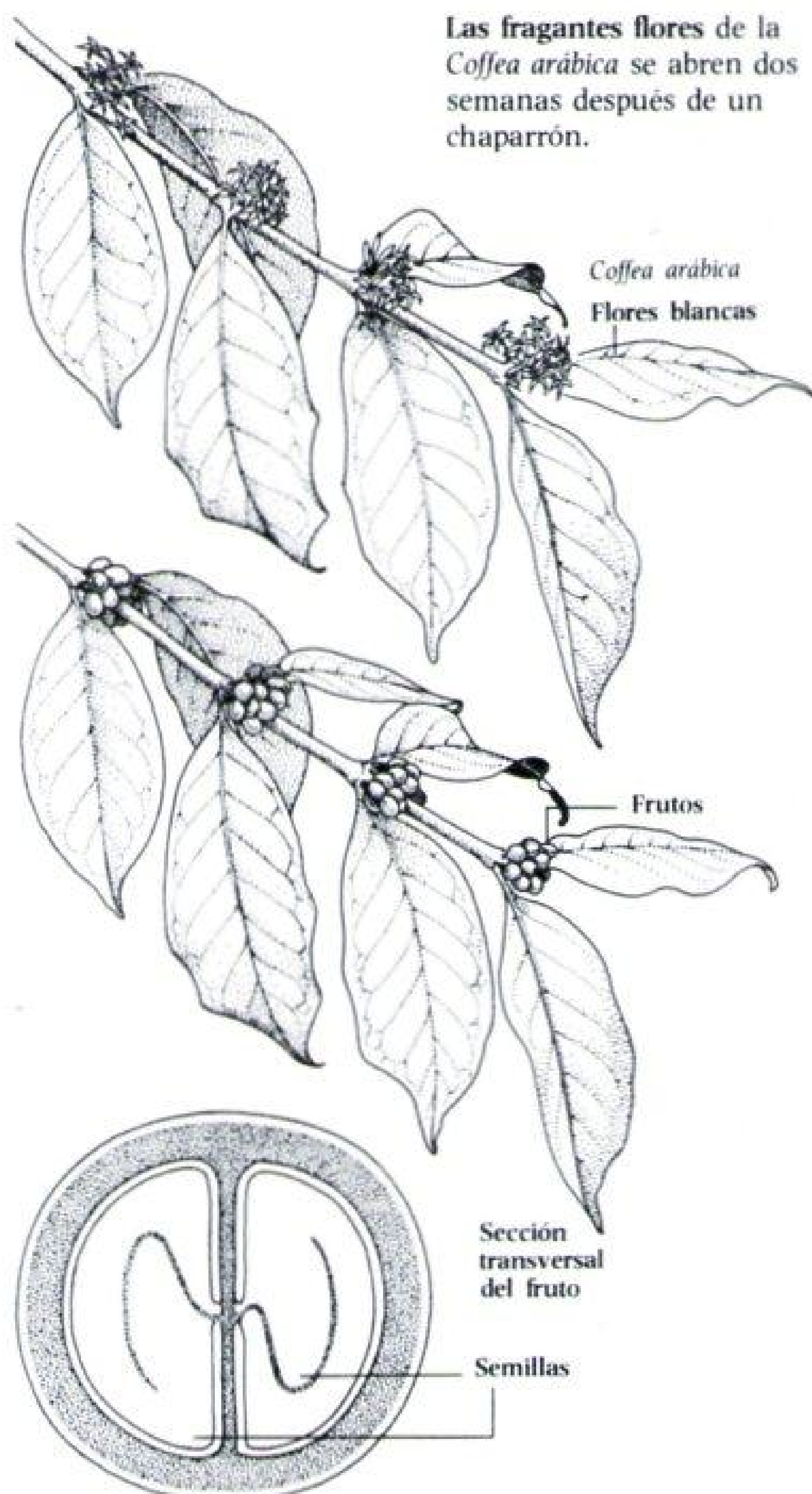
El arroz pasa de grano a inflorescencia en panícula en unos cuatro meses. Cada panícula contiene muchos diminutos granos de arroz, que maduran unos 30 o 40 días después de que aparezcan las flores.

humanas dieron los primeros pasos de la transición que media entre ser cazadores y recolectores nómadas, y formar unos grupos estables de agricultores. En vez de depender de sus conocimientos sobre las épocas de recolección de las plantas silvestres de sus hábitats para hacer acopio de una amplia gama de comida vegetal durante su vagabundeo, empezaron a plantar sus propias cosechas. La historia se repite casi sin variaciones para todas las especies de plantas cultivadas por el hombre con fines alimenticios. En un principio, una planta silvestre era recogida de su tranquilo enclave y usada como fuente de alimento. Después, esos tipos de planta sin alterar se cultivaron en ciertos lugares próximos a los habitados por el hombre. Este fue el paso clave, pues una vez que el hombre hubo empezado a seleccionar semillas, retoños, tubérculos o bulbos para la siguiente cosecha, estaba aplicando una presión de selección inconscientemente.

La presión de selección ejercida por el hombre es inmensamente más poderosa que las que operan en los ecosistemas naturales, y sus efectos son mucho más rápidos. Una mujer de una tribu agrícola de hace 10.000 años que recogiese de entre un grupo de frutales silvestres las semillas de la planta que tuviera los frutos más grandes y jugosos, para usarlas como simiente, estaba alterando la estructura genética de la especie cultivada. Los actuales expertos en genética y cultivo entienden de manera mucho más sofisticada el proceso que subyace a sus experimentos y actividades, pero la mayor parte de su trabajo equivale conceptualmente a la selección de la mujer primitiva. Las alteraciones provocadas por unas pocas generaciones de plantas o animales domesticados acabaron convirtiéndose en uno de los cabos de la trama de evidencias del cambio evolutivo que en su momento propuso Darwin.

La alimentación del hombre actual depende totalmente de su capacidad de cultivar esas cosechas radicalmente alteradas y muy productivas. La fase del proceso de cultivo más relacionada con la productividad de las plantas y de mayor significado para las sociedades humanas es la cosecha. Se procede a ella cuando la parte utilizable de la planta cultivada se ha desarrollado hasta alcanzar el punto en que puede almacenarse. Los cerelaes —trigo, arroz, cebada, avena y centeno, miembros todos de la familia herbácea de las gramíneas— son una cosecha vital, que se recoge cuando las semillas se han secado, a finales de la temporada de crecimiento. La cosecha de frutas blandas se calcula de modo que la duración de la parte blanda y comestible de la fruta sea la máxima posible.

En los climas templados se piensa de manera instintiva que la época de la cosecha es a finales de verano y en otoño. Aunque los cultivos maduran y se producen durante todo el año, este es el momento en que se recoge el trigo y se arrancan la mayoría de las frutas para ser almacenadas en invierno. En los climas tropicales, subtropicales y templados cálidos, la cosecha normalmente tiene lugar al final de la temporada de lluvias, que es la de crecimiento, o a principios de la estación seca que la sigue. Los meses concretos dependen pues de cuándo se produzcan exactamente la estación seca y la de lluvias. La cosecha de caña de azúcar, de la que depende la economía de Cuba, tiene lugar en la estación seca que va de enero a mayo, mientras que la celebración por la recogida del cacahuete en la región de Kano, en Nigeria, ocurre tras el período lluvioso de octubre y noviembre. El



Las fragantes flores de la *Coffea arábica* se abren dos semanas después de un chaparrón.

El árbol perenne del café, *Coffea arábica*, que crece en zonas tropicales y subtropicales de Africa y América, produce el 90% de los granos de café del mundo. Los racimos de frutos, que aparecen de 7 a 9 meses después de la floración, tardan varias semanas en madurar, y pasan de verde pálido a carmesí, momento en que pueden recolectarse. Cada fruto contiene dos semillas que se secan al sol y se tuestan para convertirse en granos de café.

Todas las vides productoras de vino pertenecen a una única especie, *Vitis vinifera*, la cual prefiere el clima templado del Mediterráneo. Si se la deja, la vid crece exuberante, con zarcillos leñosos y vigorosos y frutos pobres. En las viñas comerciales se poda con regularidad, lo que canaliza la energía de la planta para la producción de uvas. La mayoría de las vides cultivadas son producto de injertos y en el hemisferio norte brotan en abril y mayo.



Los brotes tiernos de las vides se transforman en hojas y zarcillos a mediados de mayo.



Las flores aparecen a principios de junio, en cuanto los días se caldean hasta los 18 °C.



Las uvas se forman en junio y comienzan a madurar en agosto, cosechándose en octubre.



terminar la cosecha de cualquier cultivo importante para una comunidad es casi siempre motivo de celebración. Incluso aunque la cosecha haya sido mala.

En Europa y América del Norte las tradiciones y supersticiones que acompañan al período de la cosecha proporcionan algunas imágenes muy vivas. Muchas de esas tradiciones, aunque teóricamente se hayan incorporado a ceremonias cristianas como el festival de otoño, arrancan sin duda de prácticas precristianas. En términos alimenticios, los cereales fueron siempre una de las cosechas más importantes, porque tras secarse adecuadamente el grano presenta unas excelentes condiciones para el almacenamiento. Quizá lo que ha contribuido a asociar una iconografía tan rica a la cosecha de los cereales haya sido una mezcla de memoria inconsciente sobre la importancia de una cosecha abundante y de tradiciones legadas por generaciones.

Es fácil comprender por qué la primavera y el otoño, las estaciones de transición en la zona templada en las que se producen los cambios más llamativos del año, tienen unas connotaciones vegetales tan fuertes. Las imágenes más vivas pasan a la lengua de modo indeleble: así para los norteamericanos otoño es «fall» (caída), con una clara referencia a la caída de las hojas de los árboles caducifolios que se produce anualmente en otoño. Esta pérdida de las hojas no es, como podría pensarse, consecuencia directa de los rigores del tiempo según se acerca el invierno. No significa en absoluto que las hojas mueran debido al descenso de las temperaturas o a la pérdida de elementos nutritivos del suelo; la caída de las hojas es una espectacular adaptación realizada por las propias plantas como preparación ante la estación hostil que se avecina de manera previsible. Este lapso de tiempo es clave para entender el proceso total. El que la pérdida de las hojas sea una estrategia precautoria implica que no es consecuencia de factores ambientales externos, los cuales se supone que previene. Durante la separación o abscisión de los tallos de las hojas (pecíolos) de la rama de los árboles se extiende una capa de tejido suberoso entre el pecíolo y la rama. Esta capa de la abscisión constituye una funda que evita que se pierda la savia de la rama y, tras haberse formado, deja que la hoja siga en su sitio hasta que una simple ráfaga de viento la arranque y la tire al suelo. Para decidir cuándo se ha de producir la abscisión las plantas necesitan un sentido cronológico muy complejo. Es preciso que sepan en qué momento de la secuencia de doce meses del cambio estacional se hallan, para actuar en el momento oportuno, desprendiéndose de las hojas antes del invierno. Como cabe esperar, el truco para un perfecto cronometraje reside en la respuesta fotoperiódica. Reaccionando ante la disminución de la duración del día más que ante el descenso de la temperatura, un árbol de la zona templada inicia el complicado proceso fisiológico que una vez completado le transformará en un esqueleto desnudo en los meses de invierno. Casi todas las no coníferas de la subzona templada fría se quedan sin hojas antes del comienzo del invierno. Las excepciones son tan llamativas, por heterodoxas, que a menudo se les han atribuido poderes mágicos. El laurel, el acebo y la hiedra son excelentes ejemplos de plantas perennes de hoja ancha, muy apreciadas en la cultura y medicina populares.

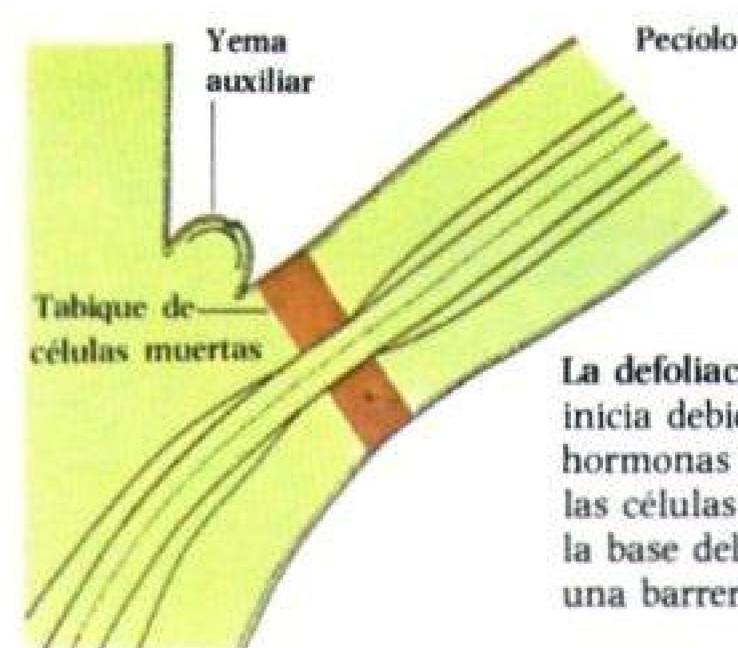
El impacto visual del otoño no se deriva principalmente de la pérdida de las hojas, por más que esto sea un cambio impresionante. Lo que es



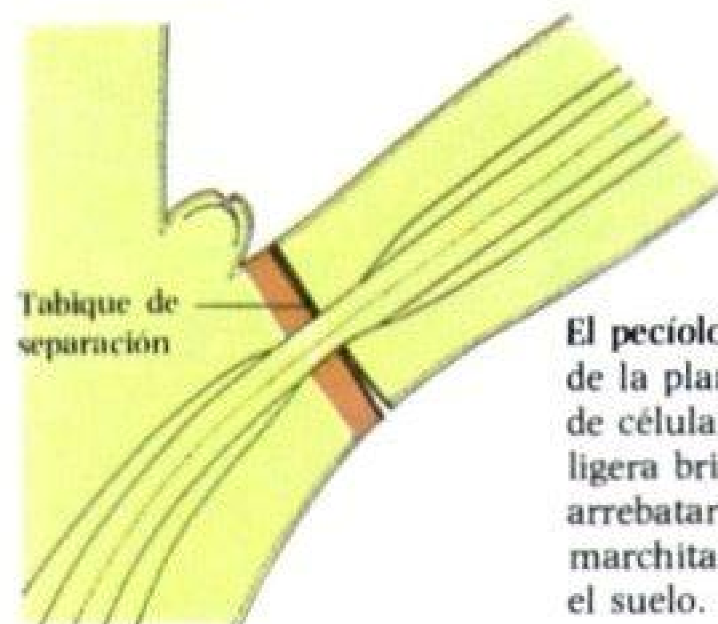
Cada año el camello de dos jorobas, o bactriano, desarrolla un pelaje invernal extraordinariamente espeso, lo que le permite trasladarse a temperaturas heladoras que la mayoría de los mamíferos no podrían resistir. Esto lo convierte en un apreciado animal de carga en el territorio asiático al norte del Himalaya. El manto, formado por una capa de pelo exterior largo y un revestimiento interior de lanilla, sufre una espectacular muda en primavera, tras haber protegido al camello durante el invierno. Una vez llegado el verano, una delgada capa de pelo sustituye a la masa lanuda, lo que, en apariencia, reduce al animal a la mitad de su tamaño, le confiere un aspecto desnudo y ralo, y deja al descubierto las dos gruesas jorobas de almacenaje.



Los cambios estacionales del color del pelo son un camuflaje para muchos mamíferos que viven en latitudes muy altas. El armiño adopta el blanco durante el invierno para ocultarse de sus presas en la nieve.



La defoliación otoñal se inicia debido a unas hormonas que hacen que las células de una capa de la base del pecíolo formen una barrera y mueran.



El pecíolo se separa pronto de la planta por el tabique de células muertas. La más ligera brisa es capaz de arrebatar las hojas marchitas, que acaban en el suelo.



Los cambios de coloración otoñal de estas hojas de castaño reflejan los cambios químicos internos que les permiten sobrevivir de año en año. En invierno, cuando el terreno está frío, les resulta más difícil a las raíces absorber agua al ritmo de traspiración de las hojas, por ello los árboles caducifolios se desprenden de las hojas, tras haber primero recobrado los elementos nutritivos almacenados en ellas, y sus funciones se hacen más pausadas. Se extrae el azúcar, las proteínas y la verde clorofila, y quedan los pigmentos de carotina, a los que se deben las familiares tonalidades del otoño.

inolvidable son las espléndidas y vivas tonalidades doradas, rojas, anaranjadas y marrones de las hojas moribundas. Lógicamente, los extremos orientales de los continentes templados más importantes presentan el despliegue más exquisito de hojas otoñales. Nueva Inglaterra y el este de China son sin duda famosos por el abrupto y vibrante espectáculo del otoño. Ello es en parte resultado de factores meteorológicos que hacen que la transición de verano a invierno sea mucho más rápida en esas regiones.

Para entender por qué con la caída de las hojas se produce un cambio de color hay que examinar más atentamente el proceso fisiológico subyacente. Con respecto al inicio de la floración, las hojas son las antenas que detectan los cambios de duración del día. Durante los días menguantes del otoño, al reconocer el cambio las hojas activan dentro de sí mismas una serie de alteraciones que implican una especie de eutanasia voluntaria.

La caída de todas las hojas en pleno funcionamiento representaría una pérdida enorme de la inversión realizada por el árbol. Implicaría el sacrificio de sus «efectivos» —grandes cantidades de azúcar, proteínas y preciados minerales como el magnesio—, todos ellos acumulados y sintetizados a partir de materias primas a un alto precio energético. Para evitar pérdidas de tal magnitud la hoja reembolsa la inversión, y es despojada de todos los haberes nutritivos que puedan ser extraídos antes de desprenderse de la planta que la construyó. La amplia gama de los alimentos recuperados le es devuelta a la estructura del árbol. Sobre todo la molécula compleja involucrada en la fotosíntesis, el pigmento verde de la clorofila, es reabsorbido y eliminado de las hojas. Este proceso de recuperación es lo que modifica el color de las hojas. Los dorados, rojos y naranjas no son pigmentos que se añadan en otoño, siempre estuvieron allí; se trata de una variedad de pigmentos relacionados con la carotina, la sustancia naranja que tiñe las zanahorias. En verano los pigmentos de carotina quedan disimulados en la mayoría de las hojas por la verde clorofila; sólo cuando ésta ha sido extraída, justo antes de la caída de la hoja, emergen los otros matices.

Las plantas, los árboles sobre todo, presentan los cambios de color estacionales más definidos y extensos que se producen en los seres vivos, pero también los animales experimentan cambios de aspecto. Las alteraciones de este tipo pueden ser provocadas directamente por cambios de la temperatura, o por otros estímulos externos: los lagartos y los anfibios adquieren un tono más claro según aumenta la temperatura a su alrededor. Se trata de una adaptación que permite a estos animales de sangre fría, que no tienen estructuras fisiológicas con las que controlar su temperatura corporal desde dentro, reflejar más calor cuando hace sol y, por el contrario, absorber más cuando el ambiente es frío. Otros animales cambian de color o de tipo de protección externa a la expectativa de un cambio estacional previsible; ello significa, como la caída de las hojas, que estos cambios son activados indirectamente. Donde mejor se observan los cambios es en las adaptaciones que pájaros y mamíferos emplean para sobrevivir durante los meses de invierno.

Las adaptaciones de los pájaros y mamíferos pueden suponer el cambio de plumas o piel oscuras por otras blancas, recurso de camuflaje en los inviernos nevados; en el caso del armiño, *Mustela erminea*, su piel de invierno blanca y moteada ha llegado a ser muy valorada por el



Los nudos de las abscisiones del año anterior pueden verse en esta ramita de castaño de indias que rebrotan, *arriba*. Los antiguos canales conductores de agua y savia parecen «clavos» en la cubierta protectora suberosa de forma de herradura.

Los dorados matices del valle de Utah son algo típico del otoño de América del Norte. Aquí la transición de verano a invierno es más rápida que en Europa. El ritmo revitalizador de las estaciones se refleja en esta fotografía de millones de hojas marchitándose.

hombre como símbolo de aristocracia. La supervivencia se ve compensada por un cambio de las propiedades de aislante térmico de la piel mediante un aumento de la longitud o el espesor del pelo. Los cambios de este tipo, ajenos al tiempo real de la estación gracias a claves fotoperiódicas, anteceden a la llegada de la nieve y suelen deberse a ritmos anuales innatos, que funcionan por claves hormonales. Sólo cuando el día es suficientemente corto se liberan las hormonas correctas que desencadenan las alteraciones adecuadas de la estructura corporal. Con la llegada de la primavera y de los días más largos se muda la piel, y los colores recobran las tonalidades del verano.

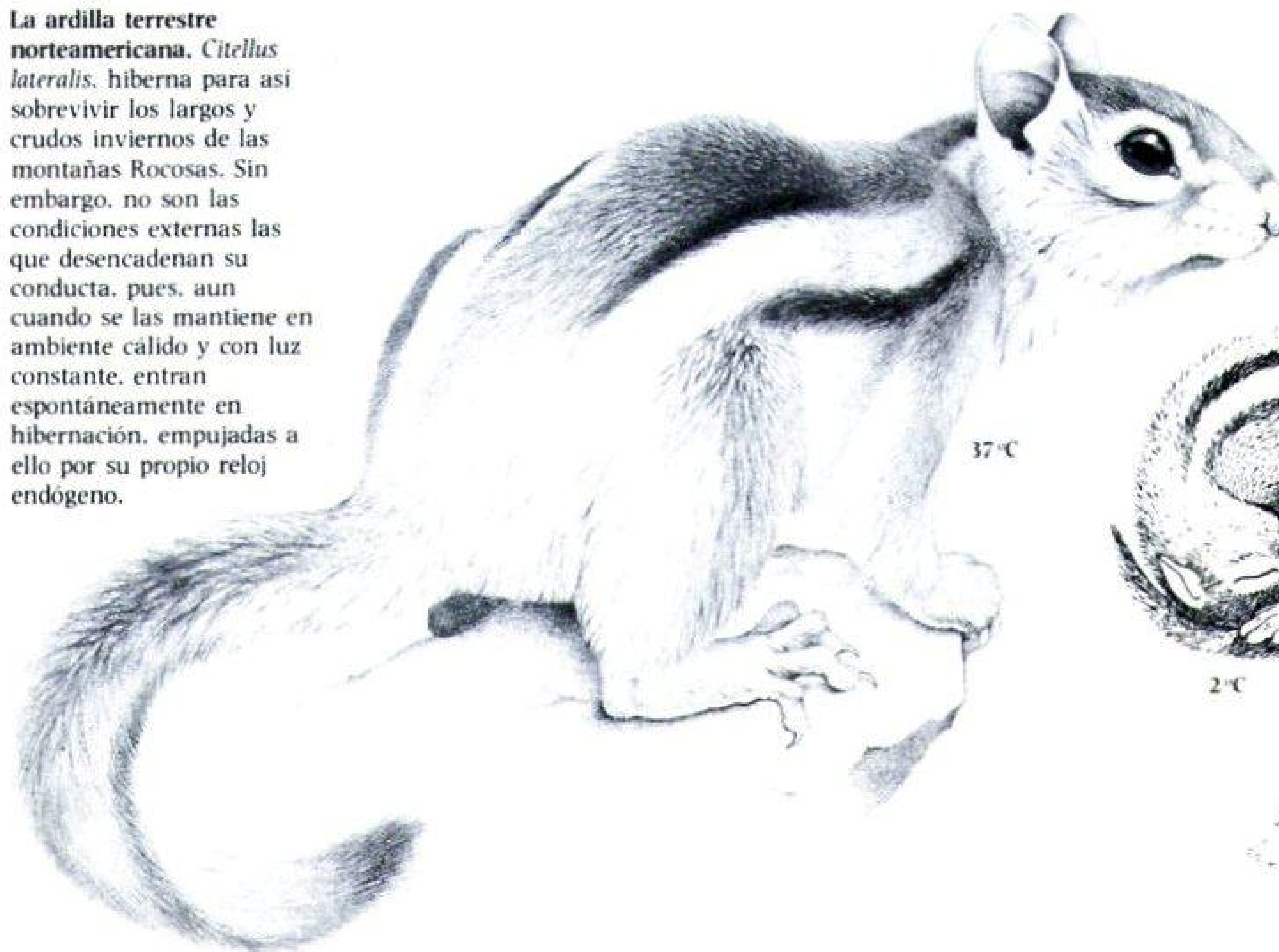
Los árboles, como no pueden escapar a los rigores del invierno nevado de las zonas templadas frías, se sirven de la caída de las hojas para protegerse en los meses gélidos del año. Pocos vertebrados cuentan con un método de protección ante el frío invernal que sea tan drástico como la defoliación de los fresnos, robles, arces, etc. Este método, la hibernación, lo pone en práctica sólo una escasa minoría de vertebrados de sangre caliente, de los cuales todos menos uno son mamíferos.

Algunos erizos, marmotas, ardillas de tierra, hamsters, murciélagos y lirones hibernan; el último de estos ejemplos proporciona una clave lingüística sobre la esencia del proceso de hibernación. En términos zoológicos, el lirón en absoluto es un ratón; su nombre vulgar inglés deriva del francés *dormeuse*, que significa durmiente. En el rigor de los meses invernales, los animales silvestres que hibernan interrumpen su actividad normal de criaturas de sangre caliente y entran en un estado frío parecido al sueño. Sólo se conoce un pájaro que experimente este tipo de cambio, en concreto el chotacabras de Nuttal, *Phalaeonoptilus nuttalli*. Muchos de los animales de los que se suele decir que hibernan, lo que incluye a osos, ardillas y tejones, de hecho no lo hacen; en vez de ello entran en un estado de letargo.

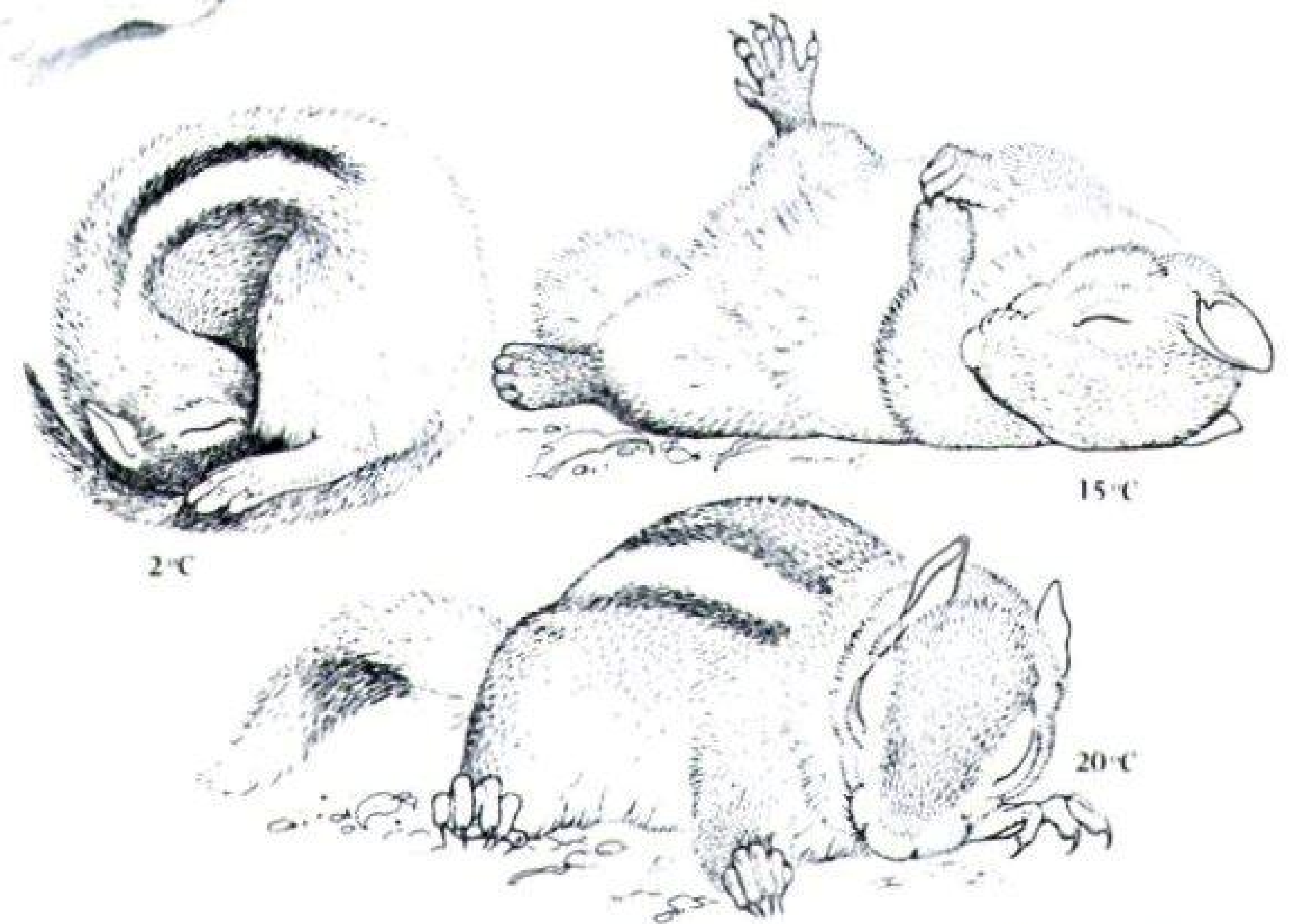
¿Cuál es pues la diferencia entre hibernación y letargo? Hablando con propiedad, la hibernación es un proceso que se limita a los animales que pueden mantener normalmente una temperatura corporal alta y estable cercana a los 37,8 °C, frente a los cambios de la temperatura ambiente. Sin embargo, bajo determinadas circunstancias, el auténtico hibernador puede dejar de mantener este calor corporal controlado, comportándose en cierto sentido como los reptiles y anfibios al hacer que su temperatura corporal se asimile a la del entorno, la cual puede alcanzar el límite de congelación de los cero grados centígrados.

Un enfriamiento corporal de tamaña magnitud resulta letal para casi todos los mamíferos y pájaros que no hibernan. En estos casos típicos, toda una escala de procesos, tales como la contracción muscular necesaria para que el corazón lata, se colapsan a temperaturas muy por encima de la descongelación. Sin embargo, en un animal que hiberne todo sigue funcionando en el estado frío. La respiración continúa, pero es lenta y poco profunda. El corazón sigue latiendo y empuja una sangre helada y espesa por el cuerpo, pero late mucho más despacio de lo normal. Es como si todos los procesos vitales del ser hubieran aminorado, y su ritmo fuese extraordinariamente lento. El significado de esta tremenda dilación del metabolismo es un enorme ahorro de energía.

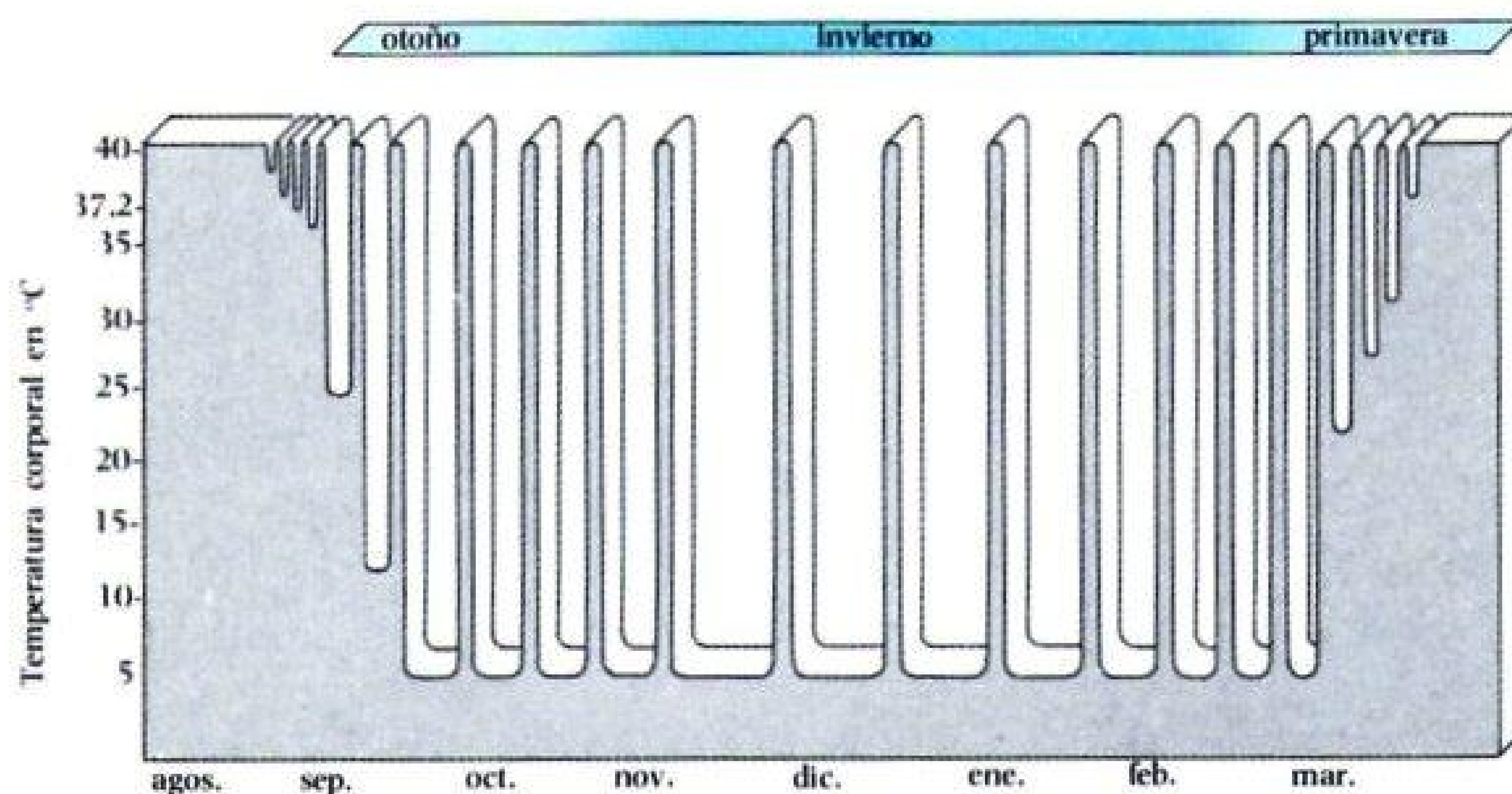
Muchos científicos creen que esta técnica de conservación de la energía en condiciones invernales suelen usarla los mamíferos que al principio evolucionaron en climas tropicales y subtropicales, pero que

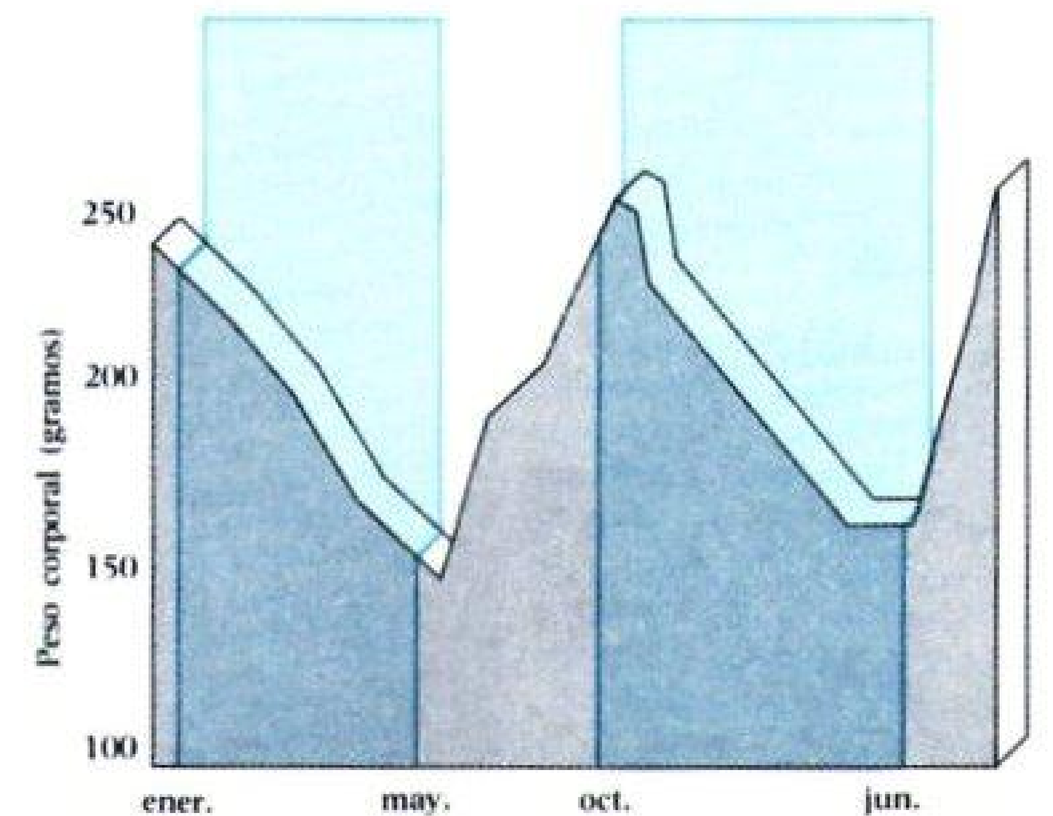


La ardilla terrestre norteamericana, *Citellus lateralis*, hiberna para así sobrevivir los largos y crudos inviernos de las montañas Rocosas. Sin embargo, no son las condiciones externas las que desencadenan su conducta, pues, aun cuando se las mantiene en ambiente cálido y con luz constante, entran espontáneamente en hibernación, empujadas a ello por su propio reloj endógeno.



Durante su hibernación, la ardilla terrestre se despierta con frecuencia. Mientras se halla enroscada, en sueño profundo, su cuerpo está casi helado. Al estirarse, las diversas posiciones indican niveles crecientes de espabilamiento, y que la temperatura asciende rápidamente. En dos horas está del todo despierta y su cuerpo ha recuperado la temperatura normal.





La ardilla terrestre entra gradualmente en hibernación en otoño. Cada noche, su temperatura desciende durante el sueño, hasta que a los 5 °C la ardilla permanece inactiva. Cuando, cada pocas semanas, el animal se despierta, su temperatura se dispara hasta los 37,2 °C normales, *izquierda*. Durante los cinco meses de la fase de hibernación, la ardilla pierde peso, pues se alimenta de las reservas de grasa acumuladas a finales de otoño, *derecha*.

más tarde colonizaron las zonas templadas frías. Los patrones de las adaptaciones fisiológicas adquiridas en el cálido hábitat inicial parecen haber dificultado o impedido la adaptación de vidas muy activas a condiciones más frías. En vez de ello, el hibernador opta por eliminar toda actividad durante el invierno. Para animales como el erizo o el murciélago, que se alimentan predominantemente de insectos, el invierno es también la época en que su comida básica resulta difícil de encontrar; la hibernación supone, pues, una ventaja en el juego de la supervivencia.

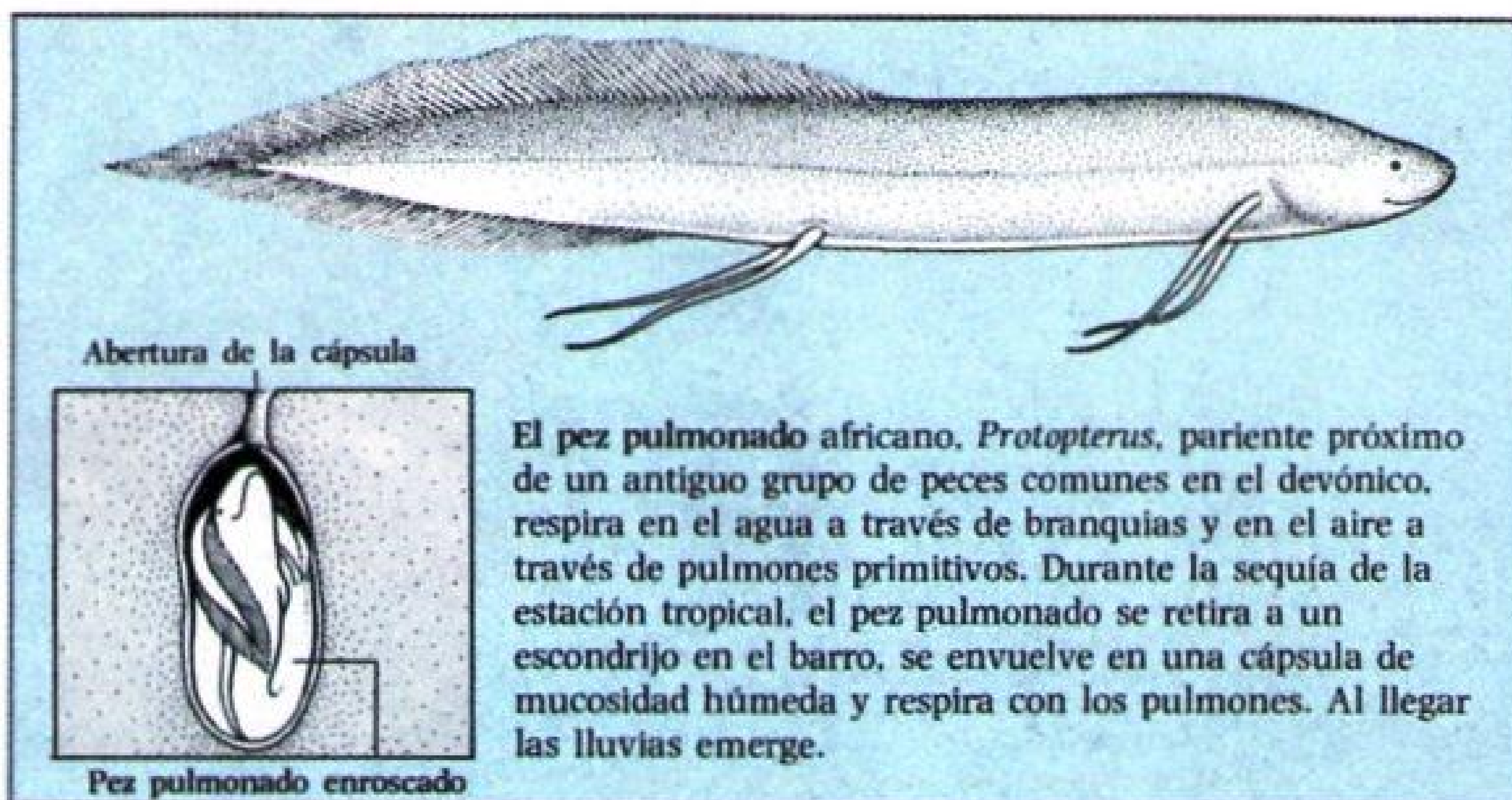
El letargo y la hibernación se parecen, pero esta última es más extremada en todos los sentidos. La hibernación implica temperatura corporal baja y gran dilación del metabolismo, a la vez que dura períodos mucho más largos que los del letargo. En la mayoría de los casos las diferencias son de grado más que de tipo, pues un oso aletargado presenta una tasa de pulsaciones y de respiración reducida. Su metabolismo amaina, hasta puede no orinar durante meses, pero su temperatura corporal es sólo unos pocos grados más baja que la de un oso activo en verano, y jamás se aproxima al punto de congelación, como ocurre con una ardilla terrestre o un lirón hibernantes.

Cambios y estados metabólicos protectores se dan en todo el reino animal, con regularidad estacional, como medio de supervivencia de los animales en condiciones duras. Multitud de insectos entran en un estado inanimado de paralización o diapausa, respondiendo por lo general a claves de duración del día que anuncian que las condiciones ambientales duras vienen en camino. Esto responde en parte a lo de ¿dónde van las moscas en invierno? La diapausa del escarabajo Khapra, *Trogoderma granarium*, que habita en la India y plaga los graneros de trigo, maíz y otros cereales, es provocada además de por el cambio de duración del día, por las temperaturas bajas, la desecación o la falta de alimento, y puede durar hasta ocho años. Esta larga diapausa ha convertido a esas larvas en una amenaza para las bodegas de carga de los barcos que transportan grano, al ser casi imposibles de erradicar. Algunos vertebrados tropicales que viven en hábitats con ciclo de estaciones de intenso calor seco, y otras de lluvia a raudales, a lo largo de los doce meses, se protegen en un estado de estivación, equivalente tropical de la hibernación. Durante la estación seca, cuando el agua disponible desciende al mínimo, los animales en estivación se refugian en un lugar protegido, para resistir tales condiciones por medio de niveles de metabolismo que consumen los elementos nutritivos almacenados en su cuerpo muy lentamente. El pez pulmonado común de Africa se entierra en el fango de su pantanosa morada antes de la temporada seca que se avecina. Cuando llega la temporada seca los pantanos quedan completamente secos, y los peces sobreviven en cápsulas de barro bajo la superficie cocida. Meses después, al volver las lluvias, éstas estimulan al pez que logra salir de la cápsula y escapar de la madriguera. Los campesinos de algunas zonas del Sudán descubren a estos peces subterráneos al acercarse la estación de lluvias. Las mujeres de la aldea caminan sobre el suelo de barro duro y seco repiqueteando con los dedos sobre calabazas, imitando el sonido de la lluvia al golpear el suelo. Al oír el sonido, el pez cree que han llegado las lluvias y comienza a emitir unos gruñidos; entonces se escarba para sacarlos y comerlos.

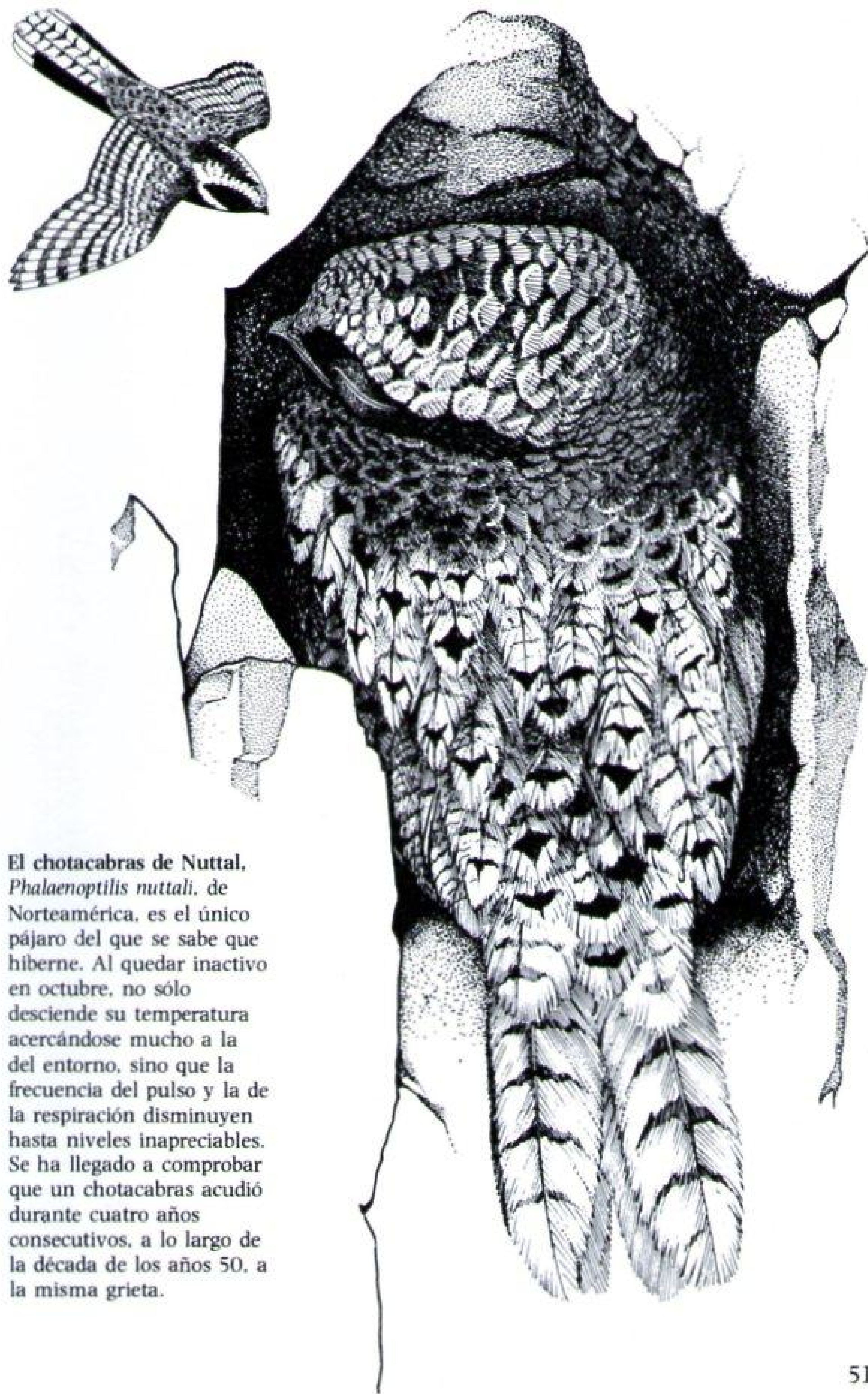


La falta de insectos y lo inadecuado de su pelaje hacen que la hibernación sea una útil estrategia de supervivencia para el erizo, *Erinaceus europaeus*. Durante el invierno se enrolla como una bola de pinchos, al abrigo de un seto o bajo un montón de hojas, a salvo de los predadores gracias a sus púas, y alimentándose de sus reservas de grasa.

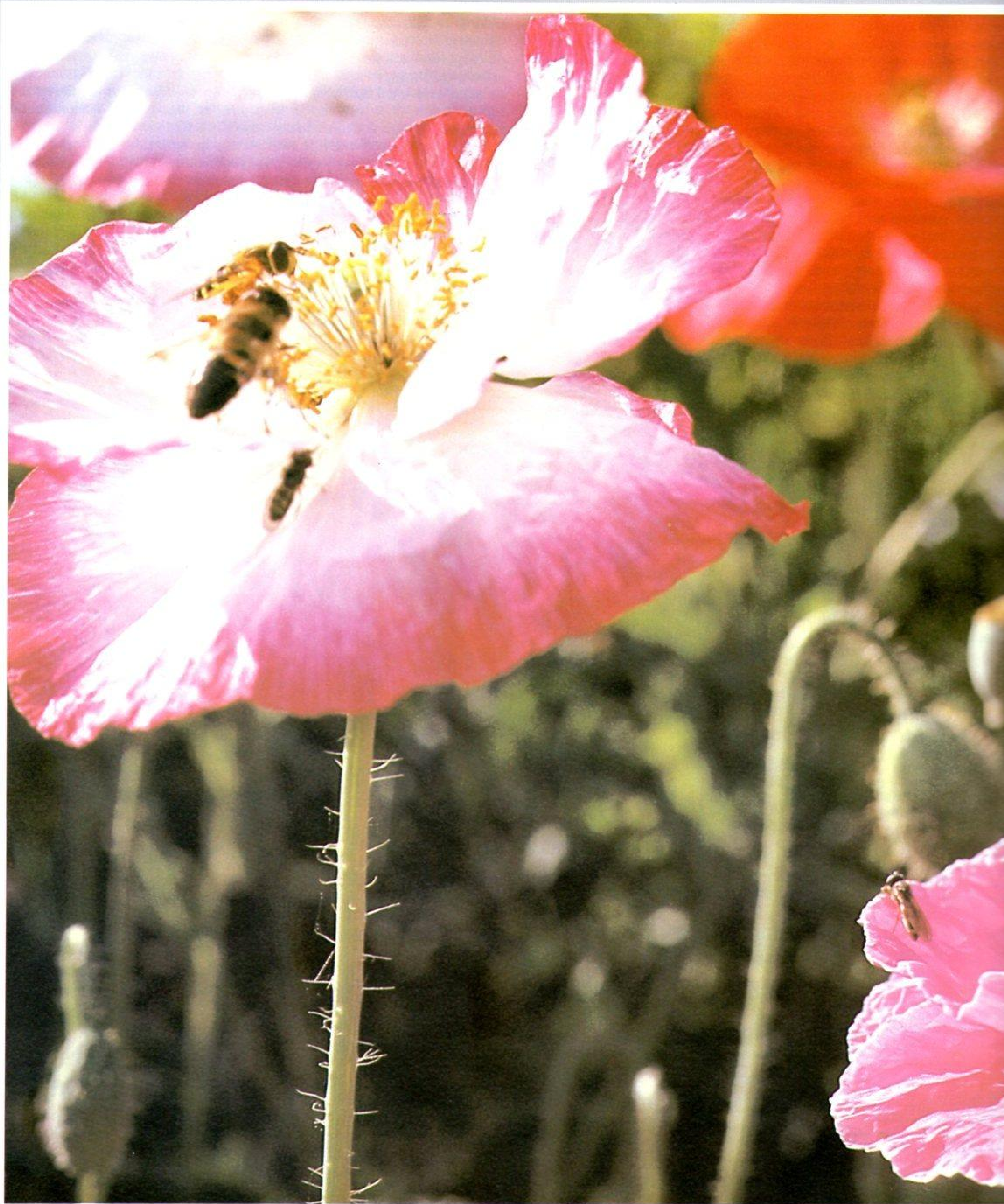
Cuando, en marzo, el tiempo mejora, la vida penetra otra vez en el cuerpo dormido del erizo. Lo mismo que otros hibernadores, activa unos depósitos de grasa marrón para elevar su temperatura desde casi 0 °C hasta 37 °C. En pocas horas, la grasa genera suficiente energía como para que las funciones fisiológicas vuelvan a la normalidad.



El pez pulmonado africano, *Protopterus*, pariente próximo de un antiguo grupo de peces comunes en el devónico, respira en el agua a través de branquias y en el aire a través de pulmones primitivos. Durante la sequía de la estación tropical, el pez pulmonado se retira a un escondrijo en el barro, se envuelve en una cápsula de mucosidad húmeda y respira con los pulmones. Al llegar las lluvias emerge.



El chotacabras de Nuttal, *Phalaenoptilis nuttali*, de Norteamérica, es el único pájaro del que se sabe que hiberne. Al quedar inactivo en octubre, no sólo desciende su temperatura acercándose mucho a la del entorno, sino que la frecuencia del pulso y la de la respiración disminuyen hasta niveles inapreciables. Se ha llegado a comprobar que un chotacabras acudió durante cuatro años consecutivos, a lo largo de la década de los años 50, a la misma grieta.





Ritmos dentro de los ritmos

¿Por qué los pájaros sólo cantan a coro al amanecer? ¿Por qué los cangrejos se afanan en esconderse bajo las piedras antes de que la marea baja los deje al descubierto? Y ¿por qué los cucos siempre llegan a las tierras nórdicas en abril? Estos y otros incontables ejemplos muestran cómo la naturaleza se mantiene al ritmo del horario terrestre de los días, las mareas y las estaciones. La circunstancia astral de vivir en un planeta en rotación que, junto con su Luna, gira en torno a una estrella —el Sol— sitúa a todos los organismos de la Tierra en un medio cuya estructura temporal se compone ineludiblemente de esos tres ritmos.

La noche y el día, la pleamar y la bajamar, el verano y el invierno, todo ello implica diferencias espectaculares en la cantidad de sol, sequedad, temperatura y muchos otros factores ambientales a los que se hallan expuestas las criaturas. Pocas especies, no obstante, están adaptadas para soportar las condiciones extremas consecuencia de tales ritmos. Donde el problema se hace más patente es quizás en los animales sujetos a las mareas, pues su medio cambia cada seis horas más o menos, pasando de acuático a terrestre. Pero los ritmos de los días y las estaciones pueden ser igualmente espectaculares. Los animales son activos, bien durante el día, bien durante la noche, pero no ambas cosas a la vez, pues ello acarrearía necesidades fisiológicas contradictorias; por ejemplo, la capacidad de visión adecuada tanto de día como de noche. Aunque algunas criaturas como los gatos y los zorros puedan ver y cazar bien en ambas circunstancias, en realidad la estructura del ojo de un animal nocturno es diferente de la de un animal diurno. Lo mismo ocurre con las estaciones: con terca insistencia, la campanilla de las nieves y el azafrán florecen en pleno invierno, y con ello evitan la competencia de otras plantas anuales que las asfixian en verano al crecer más deprisa, pero que no soportan las heladas.

Estas ventajas de adaptarse a los ritmos de la naturaleza parecen lógicas y fáciles de comprender. Pero, ¿cómo y por qué surgieron?, pues con seguridad la vida primitiva no debía ser tan sofisticada. La respuesta bien puede residir en la composición inicial de la atmósfera de la Tierra. Hace cuatro o cinco evos, cuando la vida pugnaba por desarrollarse a partir de los ingredientes de la sopa primigenia, nuestro planeta no estaba protegido, como actualmente, de las radiaciones ultravioletas del Sol, altamente destructoras, gracias a una pantalla atmosférica superior de ozono. Ocurría pues que el ambiente fluctuaba violentamente entre la abrasadora radiación del día y la gélida oscuridad de la noche, y es probable que la vida primitiva no habría durado mucho si no hubiese desarrollado cierta capacidad de cronometraje mediante la que confinar a la noche los procesos más sensibles a la radiación. Esta capacidad acabó integrándose en el código genético de los animales y plantas primitivos, de modo que no sólo acarreó importantes implicaciones en sus vidas, sino que se transmitió a incontables generaciones posteriores.

La multitud de ritmos biológicos puede dividirse en dos categorías muy diferentes. Por una parte existen todas esas funciones biológicas que, en los mamíferos sobre todo, parecen funcionar simplemente por oscilación: el latir del corazón, la respiración, la transmisión de los impulsos nerviosos, etc. Estos ritmos no están estrechamente relacionados con el tiempo externo; latidos y respiración, por ejemplo, varían principalmente de acuerdo con la demanda de oxígeno de los tejidos. Muy al contrario, hay ritmos por los que animales y plantas ajustan sus vidas en lo esencial a las periodicidades diarias, a las lunares como las mareas y a las anuales. Esos tres ritmos están vinculados específica y exclusivamente con el tiempo exterior, y a ellos precisamente se refiere este capítulo.

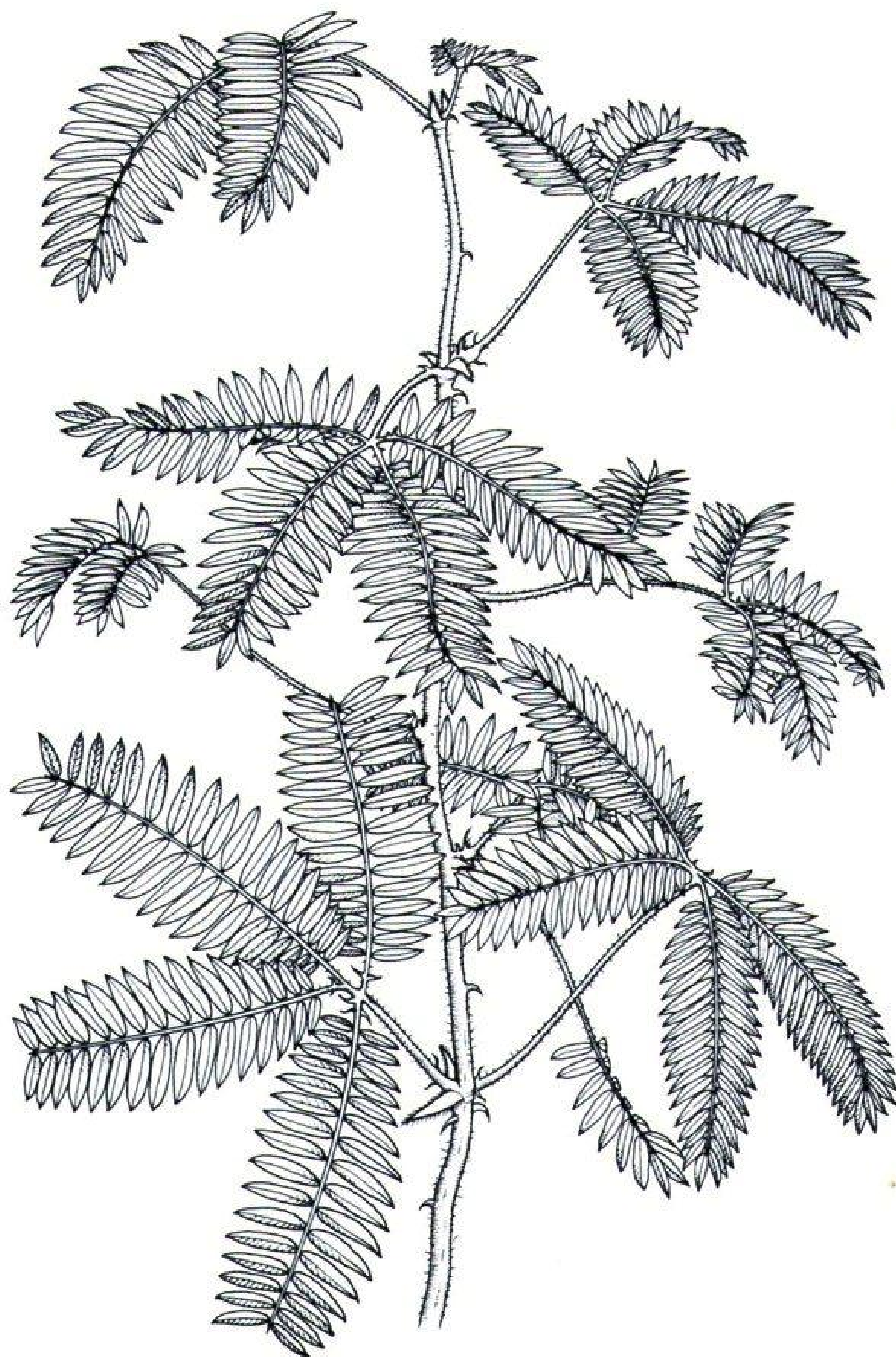
Los animales y las plantas han llegado a adaptarse a su entorno a través de la repuesta, exacta aunque involuntaria, a los ritmos diarios, a los de la marea, a los lunares y anuales. Esas adaptaciones progresaron de modo que los organismos pudieran ordenar sus vidas de acuerdo con la estructuración cronológica del mundo, manteniendo cada especie una relación característica con el día, la marea o el año. Desde la eclosión de las flores hasta la conducta reproductora de los animales, todos los miembros de una especie deben ser activos hacia la misma época si se desea una reproducción y cría satisfactorias.

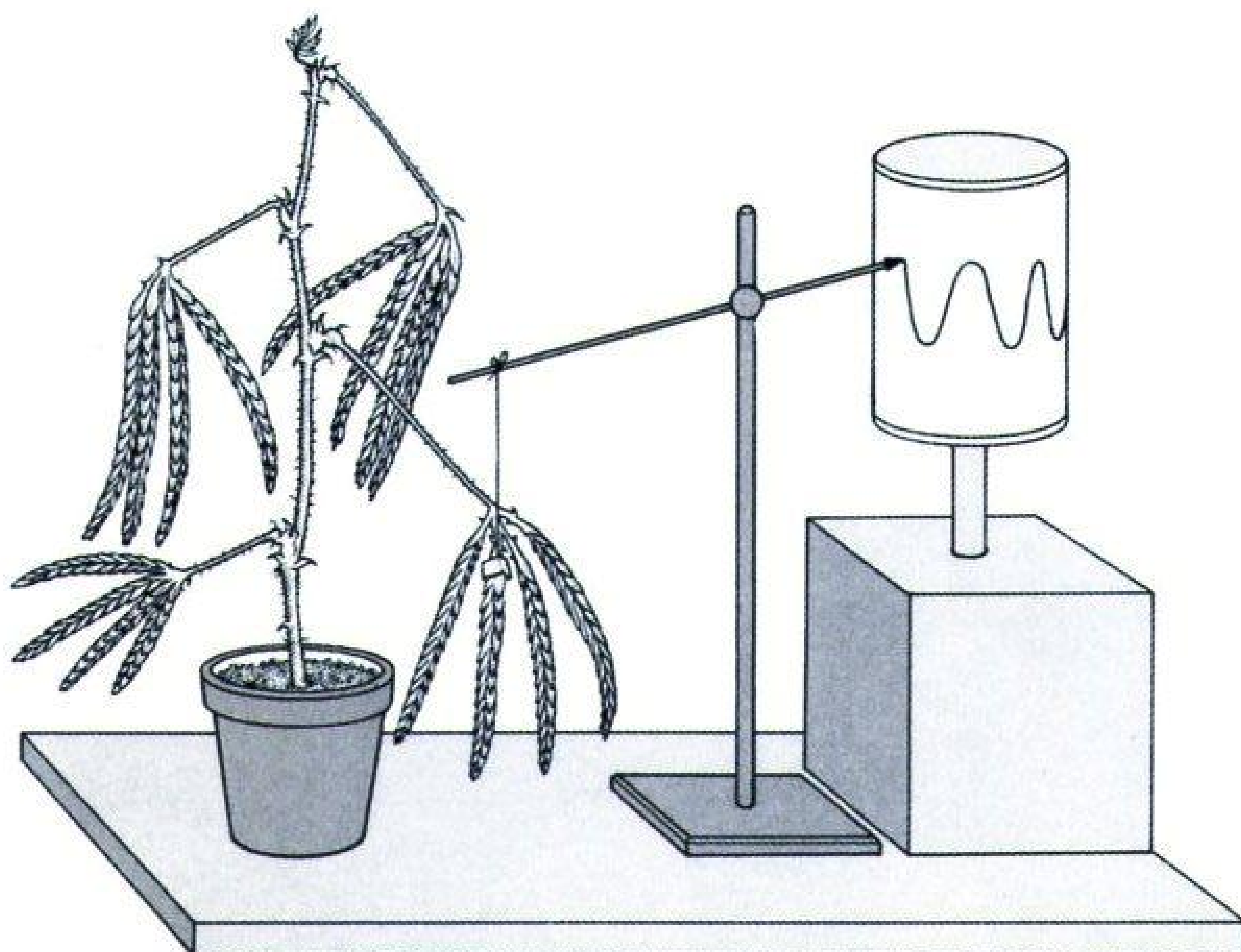
Esta regulación temporal se halla en la base de todos los ritmos biológicos, ya sean diarios, de las mareas, lunares o anuales, y consta de dos partes bien diferenciadas pero con una mutua dependencia. Una parte la constituye la fisiología del organismo, organizada de modo tal que sigue un ciclo, aproximadamente a la velocidad adecuada de una vez cada 24 horas, o una vez con cada marea, o una vez al mes o al año. La otra parte del mecanismo de regulación incluye el medio ambiente y las respuestas del organismo a claves importantes como las del amanecer o el ocaso, las cuales va captando en su entorno con el paso del tiempo. De este modo ambas partes encajan, ajustando el organismo al tiempo solar local mediante una actividad conjunta como si se tratara del mecanismo de un reloj; no uno mecánico sino uno biológico.

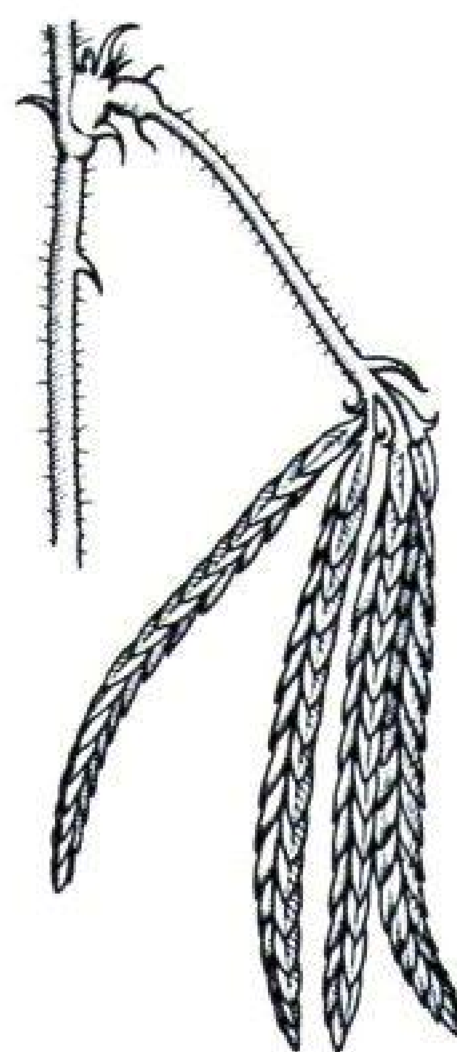
Tanto el ritmo del organismo como el del cambio ambiental tienen un punto de partida —por ejemplo, el amanecer y el levantarse— y terminan de nuevo en ese mismo punto 24 horas después, habiendo trazado cada uno un ciclo completo de día y noche, o de actividad y sueño. Un ritmo es pues una serie completa de ciclos repetidos, cada uno muy parecido al anterior. El resultado de esta serie de ciclos es una oscilación, ya sea del ciclo ambiental de luz y oscuridad o de la conducta animal de sueño y vigilia. Precisamente lo que hace un péndulo al balancearse una y otra vez en zig-zag, completando cada ciclo de oscilación, nos proporciona el más útil y apropiado modelo de ritmo, en base al que examinar los términos que los biólogos han recogido de físicos e ingenieros para estudiar los ritmos de la vida.

Imaginemos un péndulo provisto de un lápiz fijo que cada vez que oscilase trazara un arco sobre un trazo de papel. Si se va retirando el papel hacia abajo a una velocidad estable, mientras el péndulo sigue moviéndose, el lápiz trazará una ondulación sinuosa sobre el papel. Esta ondulación puede parecer una versión del registro de los movimientos del «sueño» de la hoja de la *Mimosa pudica*, planta que se ilustra abajo, y que repliega sus hojas por la noche abriéndolas de nuevo cada día. El desplazamiento zigzagueante de la línea mostrará la amplitud de la oscilación del péndulo. El eje horizontal trazado sobre el papel, que representa el tiempo y la distancia entre dos cumbres sucesivas del trazo, se conoce como período de oscilación. El período de un ritmo es, pues, el tiempo invertido en la conclusión de un ciclo completo, que aquí es representado por la distancia en el papel; distancia que, por otra parte, depende de la velocidad a que se mueve el papel.

Otra medida de la velocidad de un ritmo es su frecuencia, es decir, el número de ciclos que se completan en un tiempo dado. Así, la frecuencia de un ritmo como el del pulso humano es de 70 ciclos por minuto. Este es desde luego un ritmo de frecuencia muy alta si se lo compara con los ritmos ambientales del día y la noche, de la Luna, de







La planta llamada «sensitiva» es una pequeña especie del género *Mimosa*, que recoge sus hojas a los pocos segundos de haber sido tocada. Los diminutos foliolos se repliegan sobre el raquis principal de la hoja, que luego se inclina sobre la base del pecíolo, *izquierda*. La planta también parece «irse a dormir», pues de noche sus hojas se pliegan de idéntica forma, mientras que de día se extienden al Sol. Pocas plantas muestran respuesta al roce, pero muchas presentan un ritmo diario de sueño con movimientos similares, sobre todo la *Mimosa pudica*, *extremo izquierda*, la cual pertenece a la familia de las leguminosas. Este ritmo puede demostrarse fácilmente con el aparato de arriba. Se sujeta por medio de un hilo el raquis de la hoja a un ligero brazo oscilante, en cuyo extremo opuesto hay un bolígrafo. Este presiona levemente sobre un papel enrollado a un cilindro, controlado por un reloj para que dé una vuelta completa a la semana. Cuando la hoja se levanta de día, el bolígrafo desciende; cuando se pliega de noche, el bolígrafo sube. El resultado es un registro sinusoide, un brazo similar a una culebra, que pone de manifiesto un ritmo de siete cumbres diurnas y siete depresiones nocturnas.

las mareas y del cambio de las estaciones; la frecuencia del ciclo de sueño y vigilia es una vez cada 24 horas, la de la caída y el retoñar de las hojas una vez al año. Matemáticamente la frecuencia es inversamente proporcional al período: es decir que, según aumenta el período de un ritmo, su frecuencia disminuye y viceversa. Con el péndulo también ocurre así porque cuanto más largo es el brazo, tanto más dura la oscilación; a mayor período, pues, menor frecuencia.

Cualquier punto concreto de un ritmo es una fase. Es esencial contar con una fase definible dentro de un ritmo, para saber dónde ubicar la fase en relación al total del ciclo y al propio ritmo. Por ejemplo, el período del ritmo del péndulo puede ser identificado por la posición de las cumbres en el registro gráfico. Conviene tomar la cumbre como punto de la fase, pero también puede tomarse la depresión o cualquier otro punto de la oscilación. En teoría, cada ciclo de un ritmo atraviesa por un número infinito de fases, pero en la práctica es lógico seleccionar las que son fácilmente identificables. Por ejemplo, en el ritmo del movimiento de la hoja de la mimosa, cualquier posición podría usarse como fase de referencia, pero lo más fácil es referirse a las fases de máxima extensión diaria a máximo repliegue por la noche.

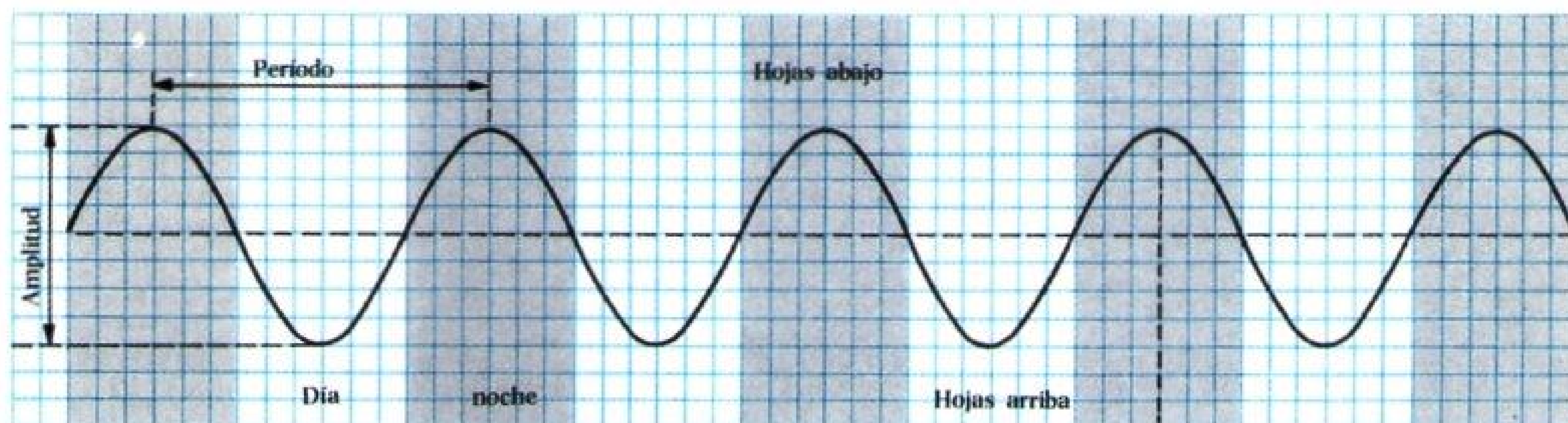
La fase de un ritmo no sólo resulta útil para las descripciones, sino que también resalta un concepto que vincula las dos partes del mecanismo del reloj biológico: la fisiológica y la ambiental. La mimosa tiene las hojas desplegadas durante el día y replegadas de noche, y esa es la relación de fases entre el ritmo fisiológico de la planta (la posición de las hojas) y el ritmo del entorno (día/noche). Esta relación de las fases acaba acentuando el significado de todos los ritmos ligados temporalmente al entorno, ya sean diarios, lunares, anuales o de las mareas.

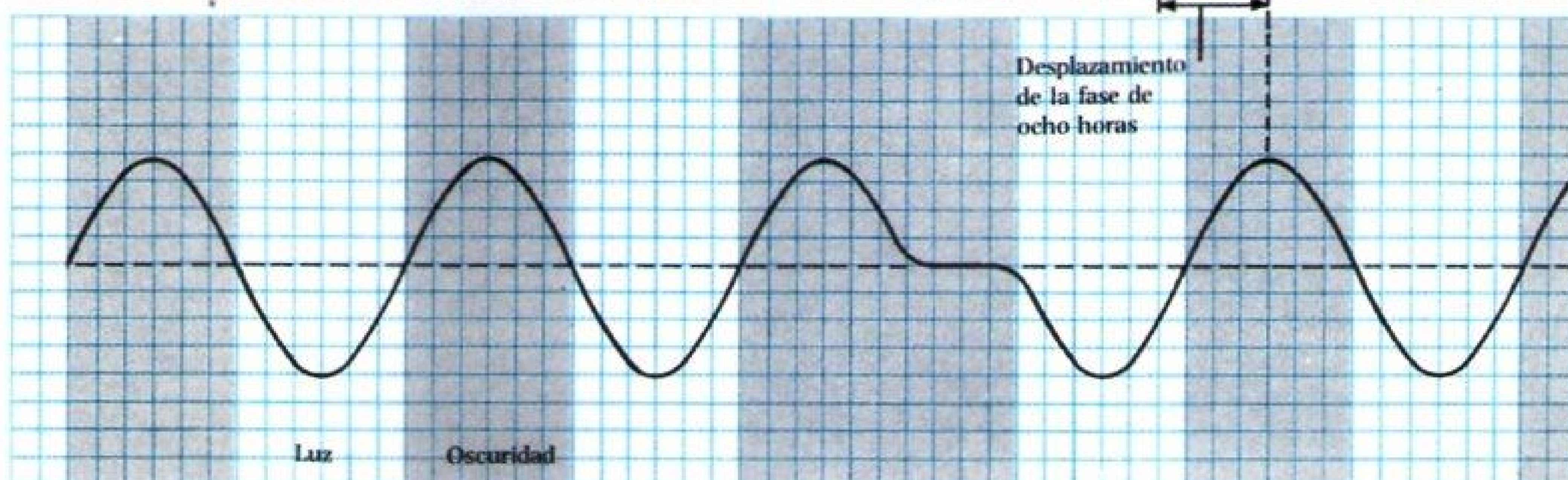
Si la temporalidad del ciclo ambiental cambia, entonces el ciclo del organismo también se ve afectado, pero a su debido tiempo se reajusta a la antigua relación de fases con el entorno. El fenómeno del retraso por un vuelo a reacción en el hombre, que le agota un cierto tiempo tras un viaje aéreo de larga distancia cruzando varias zonas temporales, resume el problema admirablemente.

Cuando uno viaja en un reactor de Londres a San Francisco su entorno cambia, hasta el punto de que oscurece unas ocho horas más tarde. Sin embargo, tras un día más o menos, uno adopta el horario de San Francisco como su nuevo entorno temporal, aunque los ritmos fisiológicos subyacentes pueden tardar algunos días más en acoplarse al horario social. Es fácil realizar experimentos equivalentes con animales o plantas en el laboratorio, cambiándoles su horario de luz y observando cómo modifican sus fases para adaptarse a las nuevas condiciones.

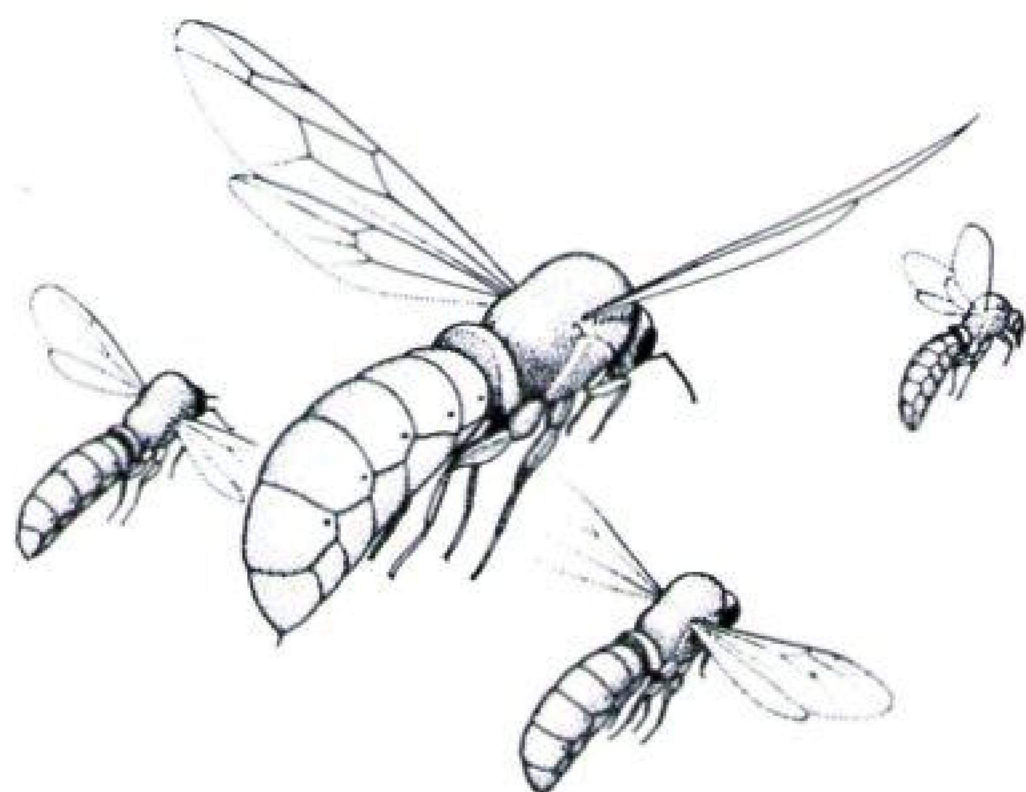
Dejando aparte a los organismos que viven en aguas con mareas y a otros que, como las bacterias, tienen una vida muy corta, la expresión más obvia de un cronometraje biológico es, en prácticamente todos los individuos, su ritmo diario de 24 horas. Esta propiedad influye en casi todos los aspectos de sus vidas, induciéndoles a empollar, crecer, respirar, alimentarse, elaborar alimentos, moverse, aparearse e incluso morir con mayor frecuencia en ciertos momentos del día que en otros. Hasta los animales más elementales y las plantas unicelulares presentan ritmos diarios casi tan exactos como los de los mamíferos más desarrollados y los de las fanerógamas más complejas.

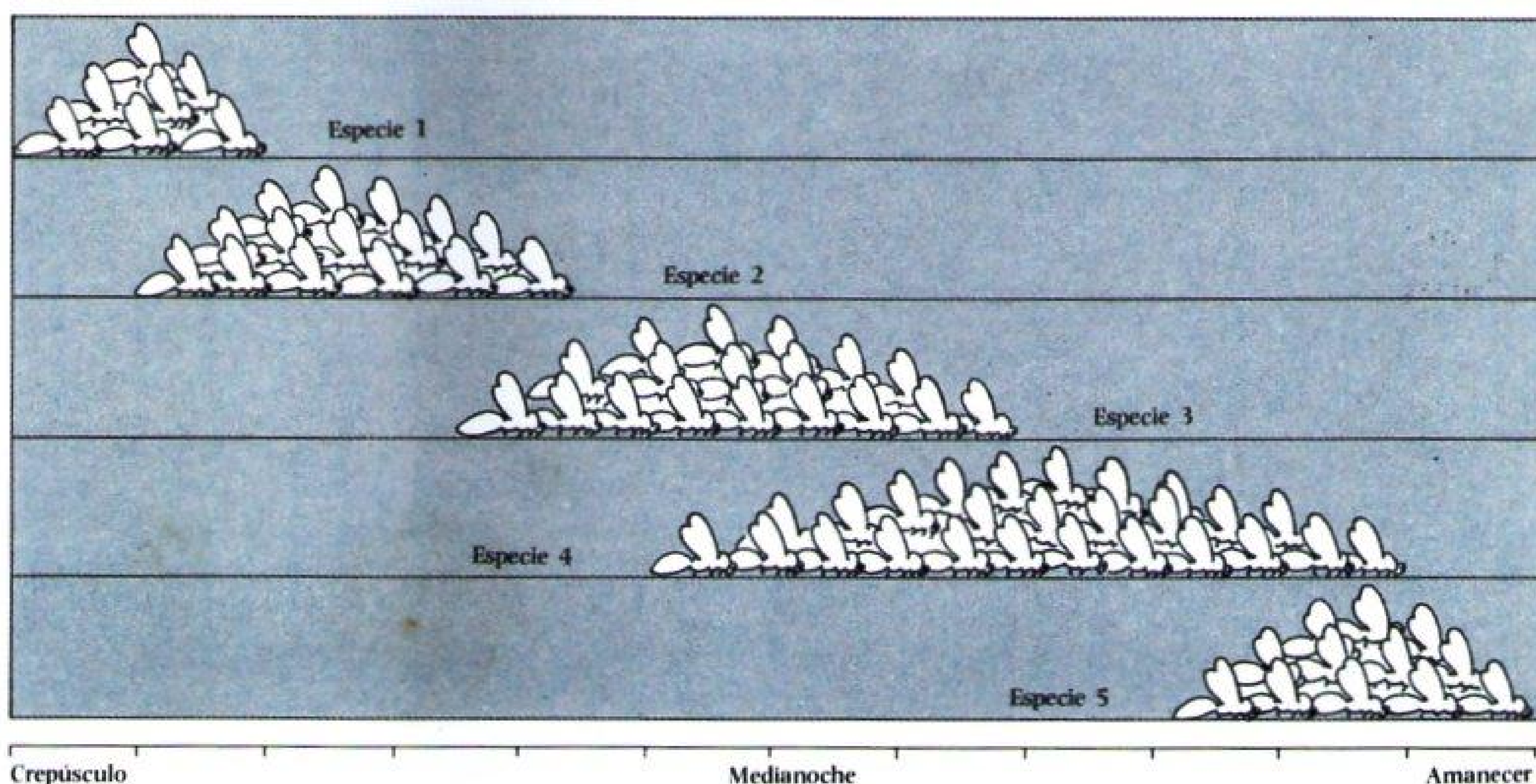
Los organismos tienden a explotar los recursos de su medio en





Las características principales de todo ritmo quedan reflejadas en el registro del movimiento diario de las hojas de la mimosa, *superior izquierda*. La **oscilación** manifiesta es el **ciclo** repetido de la secuencia arriba-abajo-arriba del movimiento de la hoja. Todos los ciclos son iguales, y duran 24 horas, lo cual constituye el **período** del ritmo. La frecuencia del ritmo es el número de ciclos completos en un tiempo dado, por ej., uno cada 24 h. La medida en que el ritmo sube y baja es su **amplitud**, es decir la distancia máxima entre las posiciones de la hoja de día y de noche.
Cualquier punto concreto del ritmo es una **fase**: por ej., la fase de la posición ínfima de la hoja ocurre a medianoche, y la de la posición máxima a mediodía. Cada fase sólo se da una vez por ciclo y mantiene una relación específica con el tiempo solar externo. Esta relación puede alterarse experimentalmente, cambiando el ciclo de luz y oscuridad. En el ejemplo de la ilustración *inferior derecha*, los dos primeros días reproducen las condiciones externas de 12 h. de luz y 12 de oscuridad. Al tercer período de oscuridad se le añaden horas extra, lo que interrumpe temporalmente el ritmo de la planta. Al encender de nuevo la luz, las hojas reanudan su movimiento, pero la fase de posición máxima de la hoja se ha desplazado con respecto al registro superior y, en consecuencia, respecto al mundo real.





La variación de los ritmos hace posible que distintas especies compartan los recursos de un hábitat, usándolos en momentos diferentes. La tabla indica las horas de vuelo de cinco especies emparentadas de hormigas macho del género *Dorylus*, que ocupan el mismo territorio en la selva de Uganda.

momentos determinados; por ello están estrechamente ligados tanto en términos de conducta como de fisiología a condiciones particulares de temperatura, humedad y, sobre todo, de luz. Una respuesta simple al porqué cada especie tiene una relación de fases especial con su entorno podría ser que cada una responde a una fase particular del ciclo de luz solar —la aurora, por ejemplo— y sólo se vuelve activa al ser empujada a ello por el entorno, al igual que un hombre que ponga su despertador para levantarse a la misma hora todas las mañanas. Si esto fuera así, la conclusión lógica sería que los ritmos no son más que respuestas directas a las claves temporales del entorno, y por tanto no son más inherentemente rítmicos que las manillas de un reloj sin péndulo o muelle que las dirija.

Sin embargo, los ritmos de animales y plantas son algo más que simples respuestas inmediatas a las señales del entorno; los organismos parecen poseer de hecho algún tipo de mecanismo interno para regular el tiempo. Mientras que el animal o la planta se halle inmerso en los períodos naturales de luz y oscuridad puede que sea imposible detectar su mecanismo interno. La solución es trasladar el organismo al laboratorio y someterlo a horarios de luz experimentales, midiendo entonces su actividad.

Lo primero es seleccionar un organismo para el experimento, por ejemplo, un hamster dorado o una ardilla voladora, pues ambos mamíferos presentan unos claros ritmos de actividad. A continuación se le sitúa en un ciclo de luz artificial fijado con una leve diferencia temporal respecto al ciclo natural exterior de día y noche. Tras esto se ve cómo invariablemente el animal tarda unos pocos días en normalizarse, al tiempo que las fases de su ritmo se desplazan para adaptarse a la nueva temporalidad del medio; lo mismo que le ocurre al hombre que acaba de bajarse de un vuelo transcontinental. La criatura, pues, adapta su relación de fases normal al ciclo de la luz. Al mantenerse constantes durante el experimento el resto de las principales condiciones ambientales, incluyendo temperatura, humedad, ruido, etc., hay dos cosas que quedan claras: una, que el ritmo se mantiene de hecho en una situación totalmente artificial, en la que la única clave temporal presente es la del ciclo de la luz; y dos, que las fases del ritmo se desplazan si cambia de modo significativo la temporalidad del ciclo de la luz.

Este desplazamiento induce a pensar que el animal ha de tener un ritmo endógeno subyacente, pues si el ritmo de actividad fuese sólo una respuesta directa al ciclo de la luz, se habría ajustado de manera inmediata el primer día del experimento. Aun así, la presencia del ciclo de la luz nos impide estipular con certeza que el ritmo del animal no se deba en gran medida al hecho de que el ritmo de la luz le dirige.

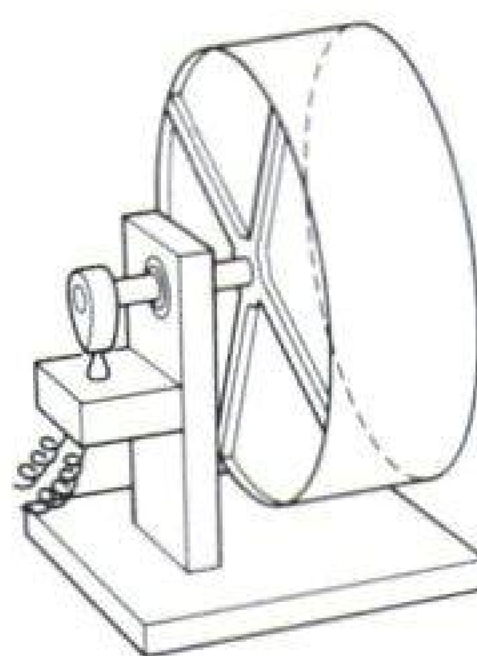
La segunda parte del experimento consiste en averiguar qué pasa cuando se suprimen todas las claves temporales del entorno, situando al animal en continua y completa oscuridad. Al hacerlo se ponen de relieve dos hechos significativos. Primero, que el ritmo se mantiene constante, lo que implica que su fuerza motriz sin duda no depende del ciclo de la luz. Segundo y más interesante todavía, el ritmo no dura exactamente 24 horas por ciclo, sino que vacila con respecto al tiempo solar externo tal y como lo miden las agujas del reloj del laboratorio.

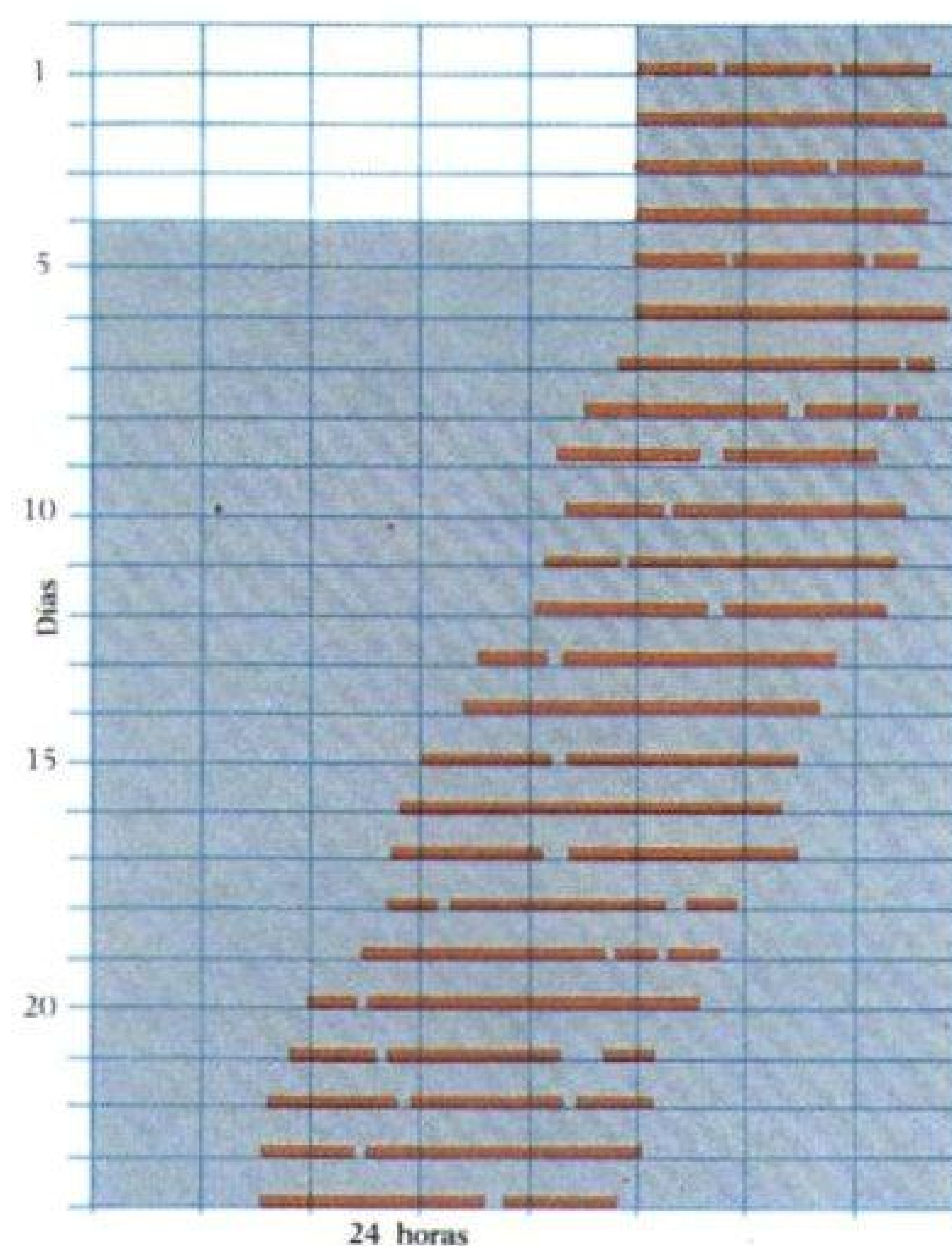
Si el ritmo de descanso y actividad hubiera seguido en completa oscuridad con el mismo período de 24 horas del ciclo de la luz podría



La ardilla voladora norteamericana, *Glaucomys volans*, es un mamífero arbóreo nocturno. Los pliegues de piel que unen sus patas anteriores y posteriores le permiten planear de árbol en árbol.

Los ritmos de actividad locomotriz de los pequeños mamíferos y de los grandes insectos pueden medirse con un aparato de tambor giratorio, *abajo*. La rueda está conectada a un dispositivo de registro, de modo tal que cada revolución completa un circuito eléctrico y hace un rayón lateral sobre un trazo de tinta dibujado en un papel en movimiento permanente. Se coloca en la rueda un animal, como una ardilla voladora o una cucaracha, y se le deja correr según sus propios impulsos. El aparato registra la actividad del animal como grupos de rayones que indican carreras repentinas.





En los experimentos con la rueda giratoria se proporciona al animal abundante agua y comida, y se le deja en paz durante varias semanas en un entorno estrictamente controlado. Para analizar el registro de su actividad motriz se corta el papel en tiras que representan 24 h. y se pegan los días unos debajo de otros tal y como se muestra *arriba*. Los trazos gruesos corresponden a los momentos en que el animal estaba activo. En este caso se usó una ardilla voladora, cuya actividad durante los cuatro primeros días coincidió con la noche natural. Acabada la cuarta noche se mantuvo a la ardilla en oscuridad permanente durante los 19 días siguientes, de modo que ya no podía contar con las claves de luz de las 24 h. No obstante su ritmo se mantuvo, desfasándose lentamente con respecto al tiempo solar externo. Aunque su actividad duraba lo mismo, comenzaba media hora antes cada día. Su ritmo se independizó pues de acuerdo con un día de 23 1/2 h., que es la periodicidad circadiana inherente a la ardilla voladora.

pensarse que fuera debido a la respuesta del animal a insospechadas claves temporales externas que no se controlaron durante el experimento, por ejemplo, la presión barométrica o el campo magnético. Pero las cosas no ocurrieron así; en vez de ello el ritmo discurría a una frecuencia que se diferenciaba, leve pero firmemente, de las 24 h. por ciclo, mientras que las claves temporales ambientales, probables o no, que no se controlaban, discurren a un paso de 24 h. exactas; pues al igual que la luz y la oscuridad, se derivan de los efectos de la rotación diaria de la Tierra sobre su eje.

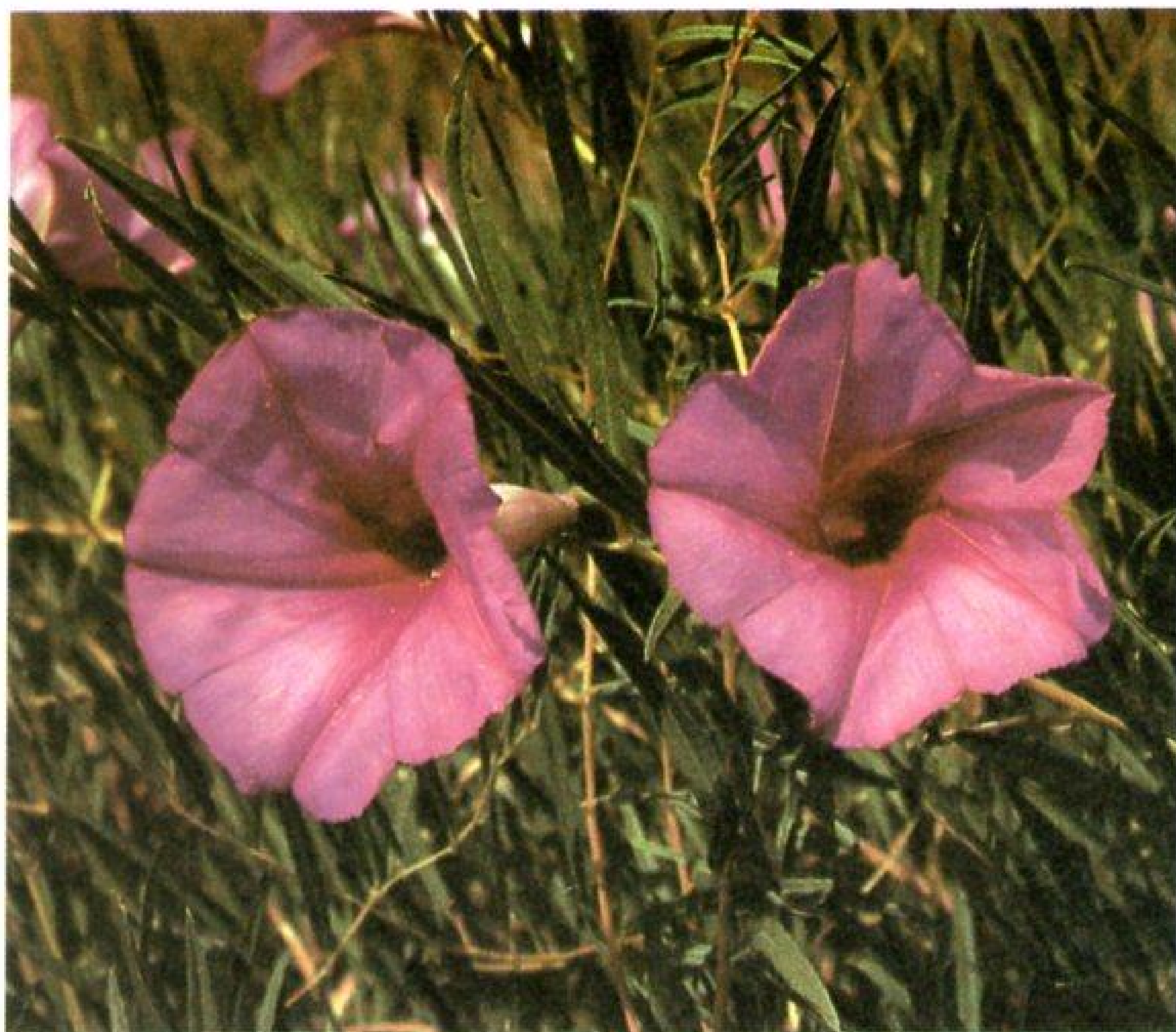
Esta divergencia independiente del ritmo de 24 h. constituye una importante prueba a favor de la tesis de que el ritmo responde a un control interno, es decir está dirigido desde dentro del organismo por un sistema de relojería fisiológico. La misma divergencia caracteriza de hecho casi todos los ritmos diarios de plantas y animales que se han estudiado hasta ahora. Más aún, el período de estos ritmos independientes en condiciones estables, rara vez difiere en más de una hora o dos de las 24, distribuyéndose generalmente en una gama de 22 a 28 horas por ciclo. Esta limitada gama del período es lo que ha contribuido a describir e identificar técnicamente tales ritmos como circadianos, palabra esta derivada de la latina *circa* que significa alrededor y *diem*, día.

Aunque los ritmos circadianos se independizan respecto al exterior en el laboratorio, a cualquier observador le resulta obvio que en la naturaleza no ocurre así. Lo que ocurre es que el ritmo de cada individuo está ajustado de modo que mantiene una relación de fases con el ambiente, según el ciclo del día y la noche, y esto nos coloca en el punto de partida de la naturaleza dual de los ritmos biológicos: se dice pues que la cualidad rítmica del entorno arrastra al ritmo endógeno del organismo hacia una periodicidad exacta de 24 horas.

Lo que se activa cuando una planta o un animal se hallan sujetos a un cambio del ciclo de la luz —como el del laboratorio o el del vuelo transatlántico— es este proceso de arrastre. Tras unos días, por desplazamiento de las fases, se vuelve a alcanzar una sincronización con la nueva duración del ciclo de la luz. Los ritmos circadianos se ven arrastrados normalmente con mayor fuerza por los cambios de intensidad de la luz del ciclo del día y la noche, sobre todo al amanecer y al atardecer, cuando los niveles de luz cambian más velozmente. Pero a falta de un ciclo de luz, muchos organismos se dejarían llevar por otras claves de 24 horas, por el ciclo de la temperatura, por ejemplo. Para el hombre otras claves sociales, como la costumbre de trabajar de nueve a cinco, y la de comer a determinadas horas, puede que sean importantísimas en cuanto a definir su ritmo circadiano.

Mientras que muchas plantas y animales organizan sus actividades en torno al ciclo del día y la noche, los organismos de la playa distribuyen sus acciones en torno a la subida y la bajada de la marea. De todos los hábitats de la Tierra, el que ocupa la franja entre los niveles alto y bajo de la marea es quizás el más difícil y el más exigente. Durante la marea alta, las criaturas que viven en la orilla, sumergidas y por tanto más o menos típicamente marinas, se ven sometidas al violento azote de las olas y al permanente movimiento de la arena, las piedrecitas y las rocas que forman el subsuelo de todas las plantas y los animales no nadadores del hábitat. Durante la marea baja, sólo seis horas después, este mismo enclave ha pasado a ser terrestre a todos los

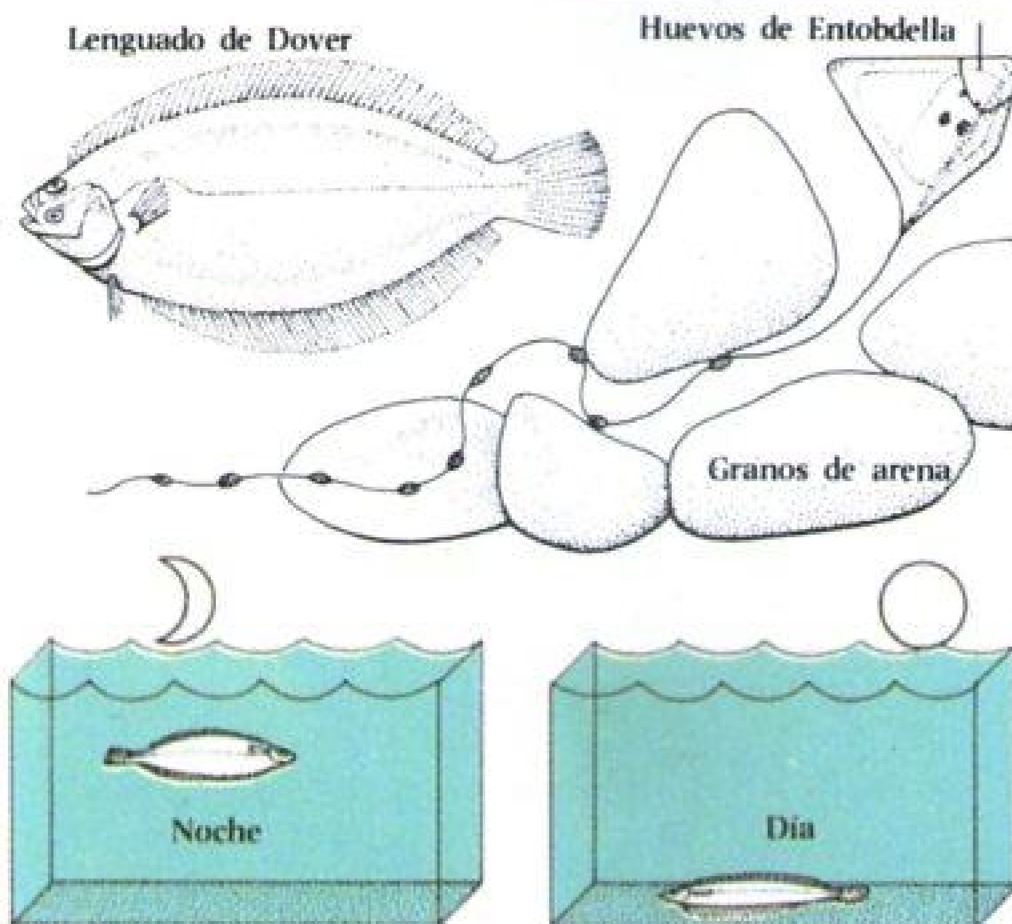


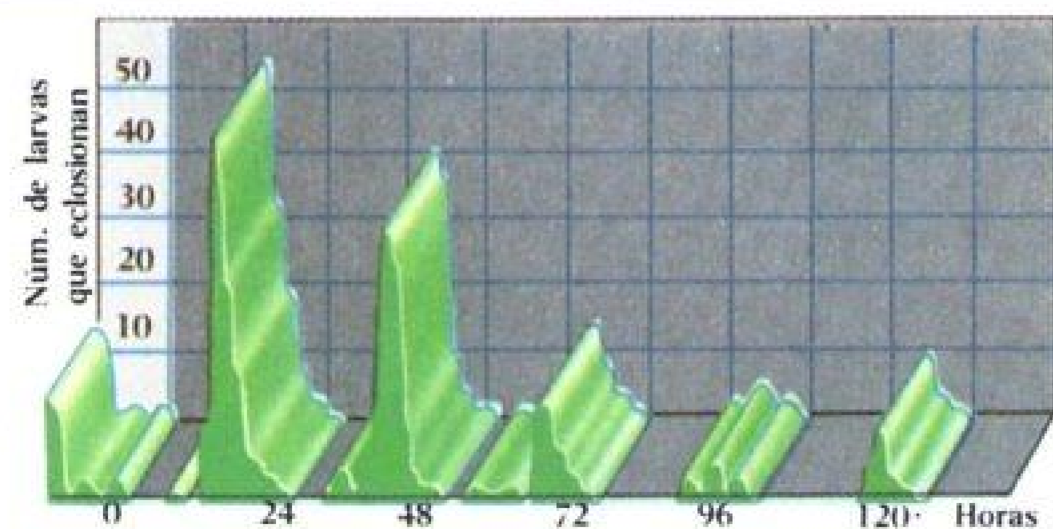




Las flores rosas de la campanilla, *Ipomea, superior derecha*, se abren por la mañana y se cierran a primera hora de la tarde. Pocas flores tienen una vida tan corta, aunque hay muchas especies que se abren sólo en momentos muy específicos del día.

Carl Linneo, botánico del siglo XVIII, cultivó un jardín floral en su ventana; la apertura y el cierre sucesivos de diferentes flores indicaban la hora. La tarjeta eduardiana de arriba muestra cómo hacerlo. Un cronometraje floral tan específico parece derivar de las oportunidades de polinización proporcionadas por las abejas, cuyo extraordinario sentido temporal les indica cuándo hay néctar disponible.





El lenguado común se alimenta y nada de noche, y descansa de día en el lecho de arena del fondo marino. El parásito de la piel, *Entobdella soleae*, deposita sus huevos en esa misma arena, *izquierda*. Las larvas emergen al amanecer, lo que les deja 12 h. para encontrar un nuevo huésped. El ritmo diario de eclosión de los huevos se mantiene y se independiza en condiciones de oscuridad permanente, *arriba*.

efectos, de modo que está sujeto a rápidos cambios de salinidad debido a la lluvia, a temperaturas heladoras en invierno, a la radiación desecante del verano al no haber sombra alguna, y en todo momento a la depredación de las aves marinas. No hay que extrañarse pues de que los organismos que se han adaptado para explotar las riquezas alimenticias de la zona mesolitoral, los que hacen que la investigación de la playa durante la marea baja sea algo tan interesante, hayan adoptado una estricta regulación temporal que les permite anticipar y evitar lo peor de su situación extrema de cambios bidiarios.

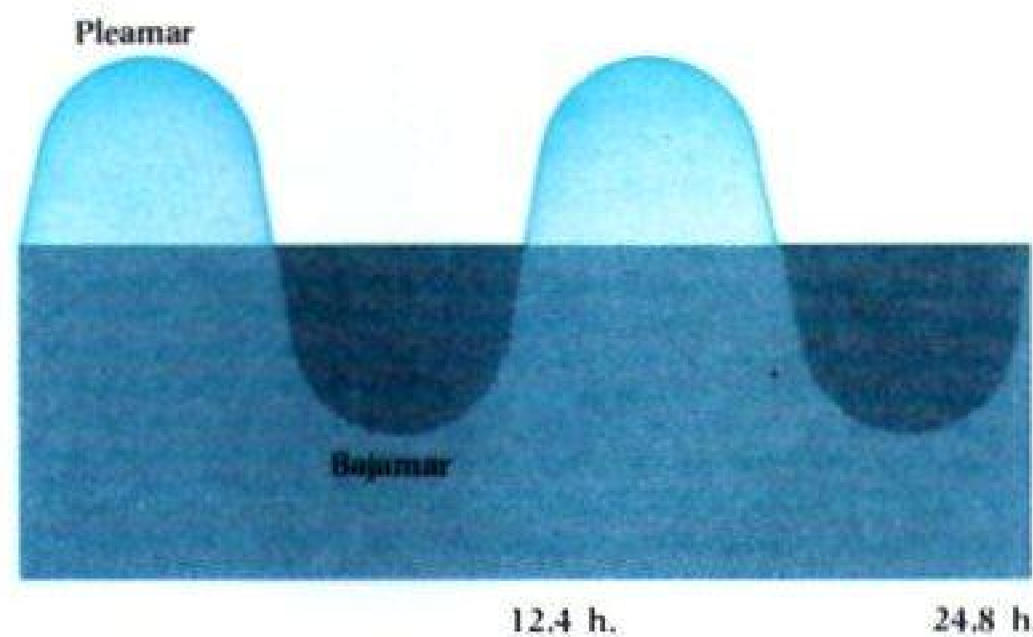
Del mismo modo en que los animales aclimatados a la tierra, al agua dulce o al mar abierto distribuyen su hábitat, usándolo en diferentes horas del día y de la noche, el hábitat mesolitoral se halla también dividido. Pero la división no es nunca tan regular como la distribución del día frente a la noche. Casi todos los animales de la zona mesolitoral son fundamentalmente acuáticos; respiran pues a través de branquias, estructuras diseñadas específicamente para extraer oxígeno del agua. A tales criaturas les resulta en consecuencia muy duro utilizar nichos terrestres durante la marea baja, y pocas son las especies que lo hacen.

Una rara excepción la constituye en esta zona mesolitoral el cangrejo violinista, *Uca*, que sale de su escondrijo durante la marea baja para buscar comida. Más frecuentes son las especies que actúan en el frente de avance o el de retroceso de la marea. Las plantas, por supuesto, no tienen más remedio que aguantarse y esperar; probablemente su única concesión al ciclo de la marea sea que liberan sus esporas reproductoras rítmicamente, vertiéndolas en el agua sólo cuando están sumergidas. Casi todas las plantas afectadas por la marea son algas, la mayoría de las cuales viven en la zona inferior de la playa, de modo que sólo quedan al descubierto en breves espacios de tiempo durante la marea baja.

Lo que nos interesa ahora es descubrir si esos ritmos de la marea son simples respuestas directas a la presencia o ausencia de agua salada. Existen excepciones, como la de los percebes que abren sus caparazones en cualquier momento mientras están sumergidos, pero por lo general el resto de los animales que se han puesto a prueba en el laboratorio muestra un ritmo que no se ajusta exactamente al de la marea —es decir, de unas 12 horas— cuando se les somete a condiciones estables. En definitiva, su regulación temporal vacila con respecto a los tiempos de las mareas de la playa donde habitaron antes de ser recogidos, del mismo modo en que los ritmos circadianos vacilan con respecto al tiempo solar.

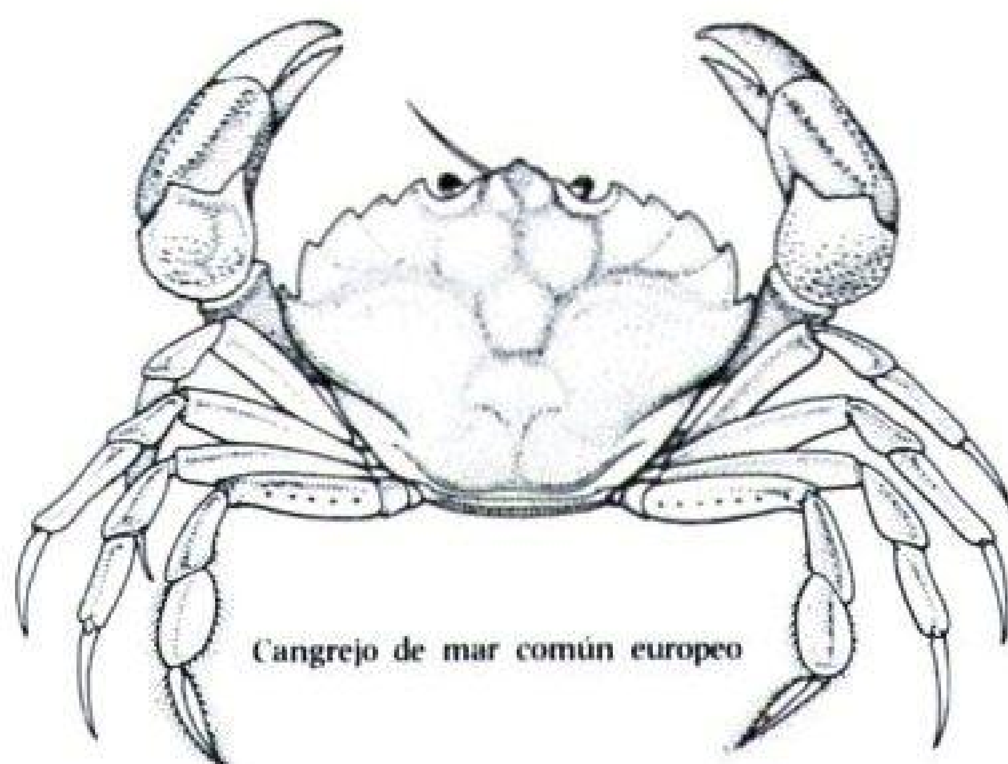
La duración media de un ciclo de la marea es de 12,4 horas. Esta cifra casi representa la mitad del período circadiano de 24 horas, de modo que los ritmos de actividad de los animales de la zona mesolitoral son muy similares a los patrones de actividad diaria doble que muchas especies terrestres han adoptado, siendo activas al amanecer y al atardecer, es decir crepusculares. Más aún, dos ciclos de marea (24,8 horas) caen de lleno en el ámbito de los ritmos circadianos independientes; así pues la suposición de que, aunque se hayan desarrollado independientemente, los ritmos circadianos y los de la marea deben funcionar de manera parecida y con mecanismos similares, está bien fundamentada. Ciertamente hay animales como el cangrejo de mar

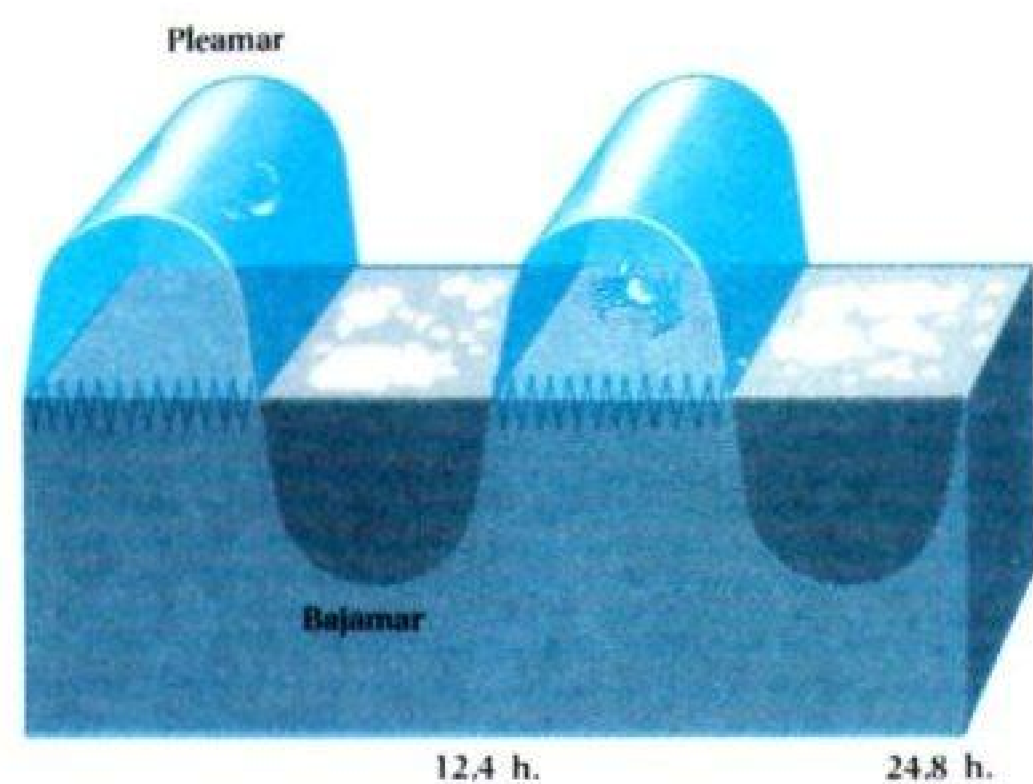
Las aguas de la marea contienen una surtida colección de animales y plantas, cuyas vidas han de adaptarse a la circunstancia de quedar alternativamente sumergidas y al descubierto dos veces al día, en las mareas altas y bajas, *derecha*. Pocos animales soportan una larga exposición a la bajamar; su actividad es por lo tanto rítmica, lo que les empuja a enterrarse en la arena o bajo piedras cada 12,4 h. aprox., en previsión del retroceso del agua. El cangrejo de mar común europeo, *Garcinus maenas*, presenta un ritmo de actividad acorde con la marea, pues se esconde bajo las piedras durante la marea baja y sólo sale a buscar comida cuando queda cubierto por el agua, *inferior derecha*.

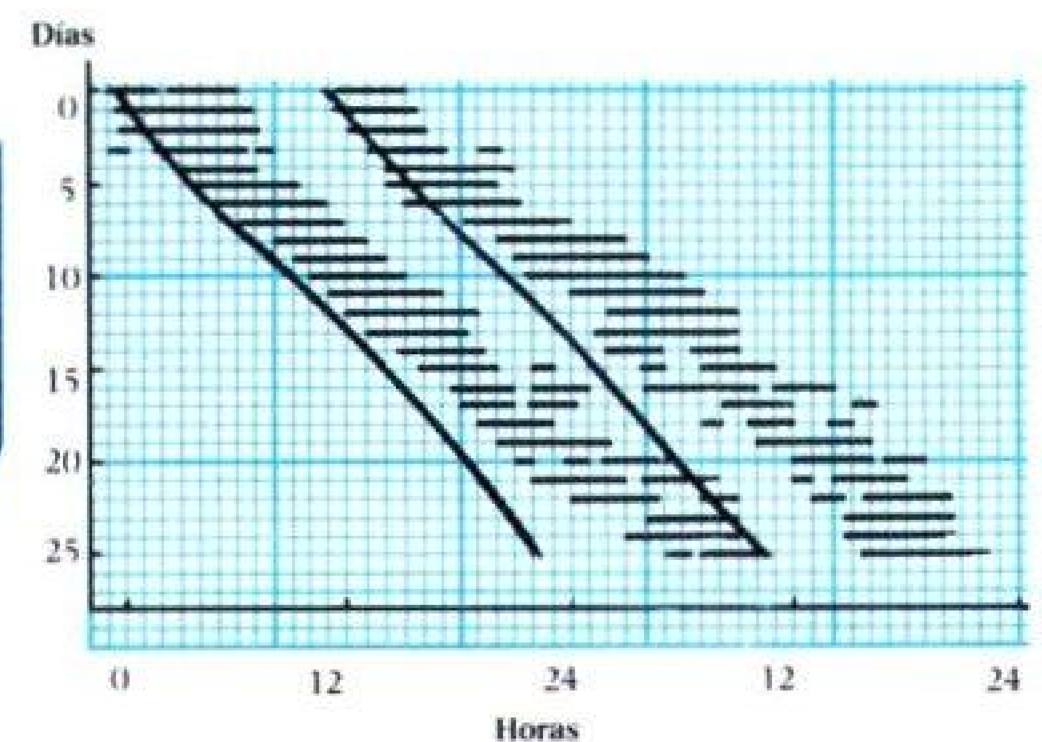


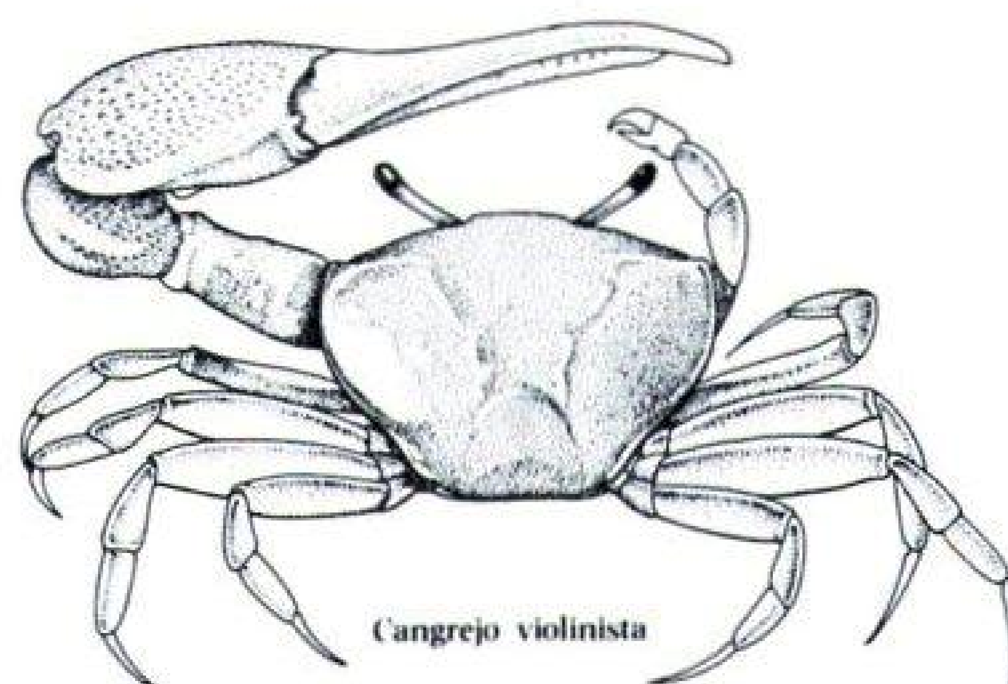


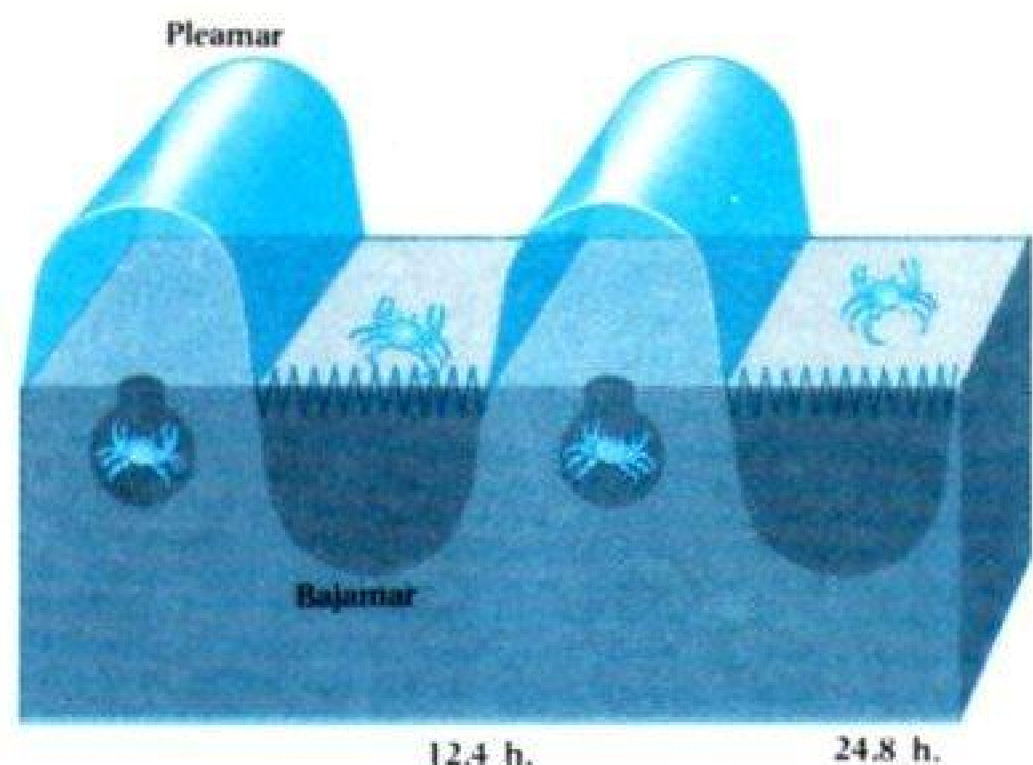
Uno de los mayores peligros que acechan a los animales durante la bajamar es el de ser devorados por pájaros como este chorlito cangrejero.











Un ejemplo poco corriente de animal activo durante la bajamar es el cangrejo violinista, *Uca spp*, que sale de su escondrijo al aire libre para buscar comida, *izquierda*. Se han realizado muchos estudios para descubrir si su ritmo de actividad lo desencadena el agua, o está dirigido por una capacidad interna para medir el tiempo de las mareas. El registro de *arriba* es el resultado de un experimento en el que se mantuvo al cangrejo en condiciones estables durante 25 días. Las dos rayas horizontales que aparecen por día muestran la actividad del cangrejo; las líneas en pendiente, las horas de pleamar de su playa de origen. Estas se desfasan 50 min. al día, ya que un «día» de marea dura 24 h. 50 min. El que el ritmo se mantenga y se desfase antes que el de las mareas indica que es espontáneo y de regulación interna.

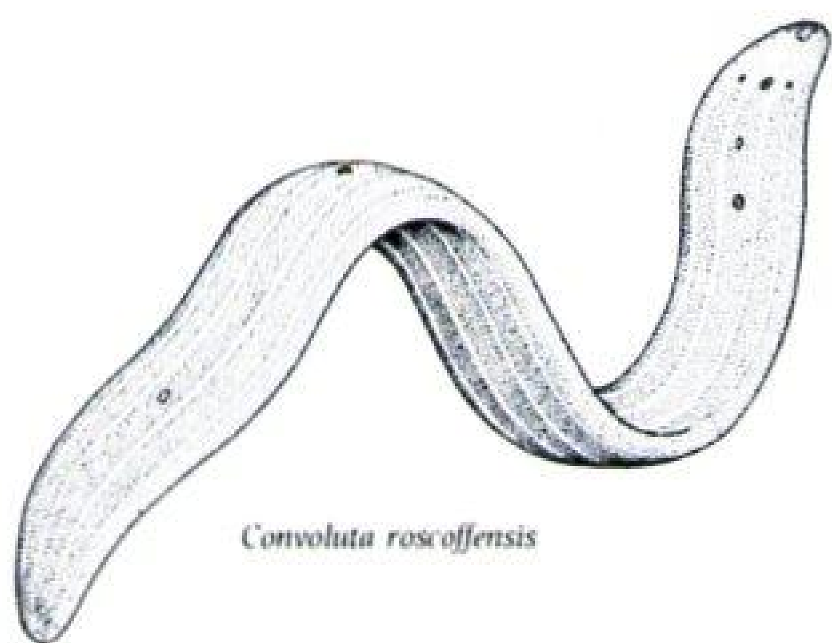
común, *Carcinus maenas*, que presentan en el laboratorio un ritmo de marea independiente de unas 12 horas cuando han sido recogidos de un litoral con mareas, pero cuando provienen de una zona sin mareas, como un muelle, la periodicidad es circadiana, de unas 24 h. Ello muestra que el ritmo puede llegar a adaptarse a diferentes condiciones.

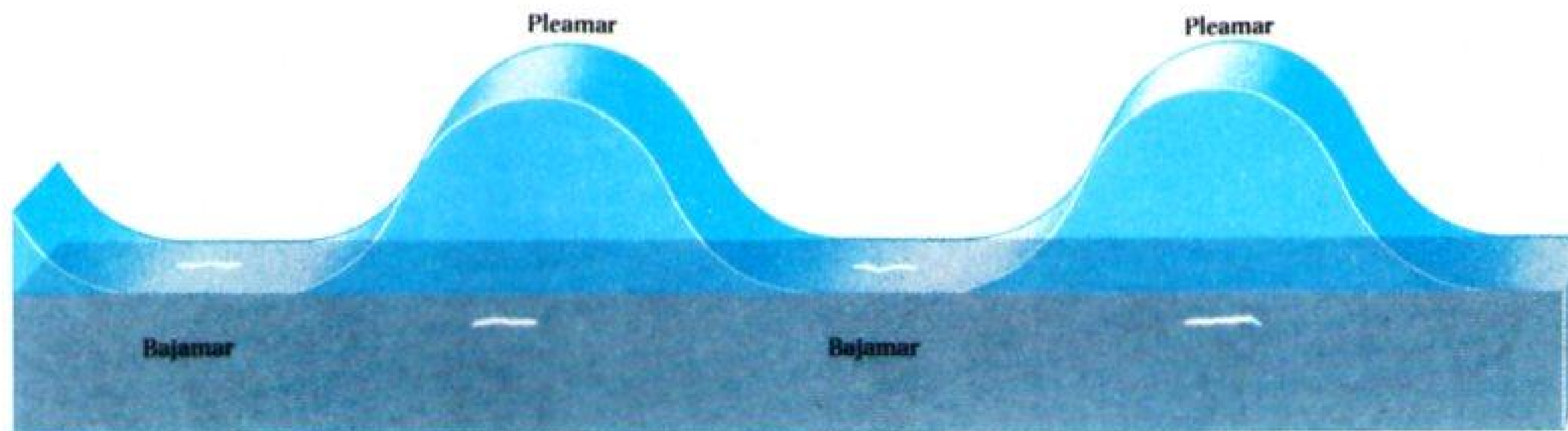
El hábitat mesolitoral se distingue, aparte de por la menor duración del ciclo y por la violencia de su periodicidad, por cambiar rítmicamente según las fases de la Luna. Dos veces en el mes lunar de 28,5 días —en la Luna llena y la Luna nueva, cuando la Luna y el Sol están alineados— la atracción gravitatoria del Sol sobre el mar incrementa la de la Luna y provoca mareas mucho mayores que la media. Se trata de las mareas vivas. En la fase intermedia tienen lugar las mareas muertas, cuando la atracción del Sol forma ángulo recto con la de la Luna.

El resultado de la influencia de la Luna sobre las mareas es que todos los litorales incluyen tres hábitats bien diferenciados. Existe una gran zona central que emerge con cada marea, un horizonte inferior que sólo queda brevemente al descubierto dos veces al día, durante el límite inferior de la marea viva alta, y una zona superior que sólo queda brevemente cubierta cuando el agua alcanza su altura máxima en las mareas vivas. El horizonte inferior es casi totalmente acuático, y el superior casi totalmente terrestre, existiendo animales que explotan esta situación. Un ejemplo bien conocido es el del grunion, *Leuresthes tenuis*, cuyos machos y hembras suben en enjambre a las playas de California para desovar en el apogeo de las mareas vivas altas. Los peces entierran allí sus huevos dejándolos desarrollarse en la cálida arena, hasta que la siguiente pleamar de marea viva los pone al descubierto arrastrándolos para que eclosionen en mar abierto.

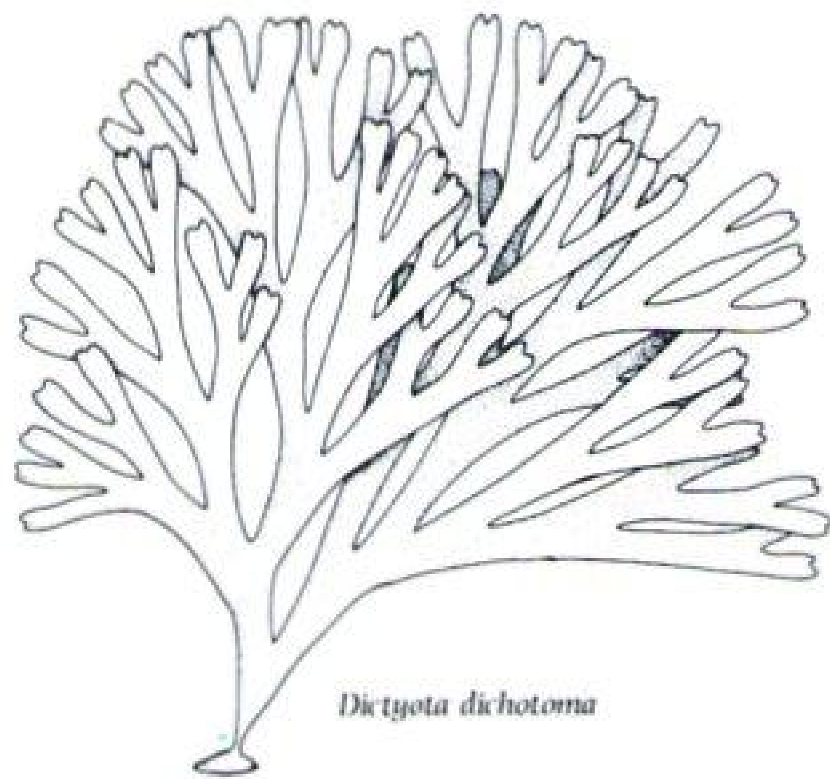
Existe aún otro aspecto de la periodicidad lunar que afecta al menos a algunos de los organismos, en concreto el del mes lunar completo de 29 días. En torno a los arrecifes de coral del Pacífico se da una manifestación muy espectacular de esto. Todos los años, durante unas pocas noches del último cuarto menguante de la Luna en octubre y noviembre, la superficie del mar bulle con un número astronómico de gusalos palolo de la especie *Eunice viridis*. El hombre —mejor dicho, la mujer— nos aporta un ejemplo más familiar con el ciclo menstrual. Aunque de hecho es independiente, pues no está directamente relacionado con la regulación del ciclo lunar real, este ciclo sigue pudiendo describirse como lunar. Entre los organismos invertebrados existen diversos ritmos de 29 días bien documentados que se asocian de manera clara a las fases de la Luna; no sólo de las especies marinas, donde tal conducta podría referirse al ciclo de las mareas vivas, sino también entre las especies terrestres. Por ejemplo, algunas cachipollas emergen en un cierto apogeo tras la Luna llena. La mayor parte de estos ritmos lunares se conocen sólo en los medios naturales, pero unos pocos se han estudiado en el laboratorio. Un ejemplo especialmente bueno es el del *Platynereis*, un pariente europeo del palolo que en condiciones naturales bulle casi exclusivamente hacia la Luna llena, pero que muestra un ritmo lunar independiente cuando se lo saca de su hábitat natural y se lo sitúa en el laboratorio con un ciclo estable de 24 horas de luz y oscuridad.

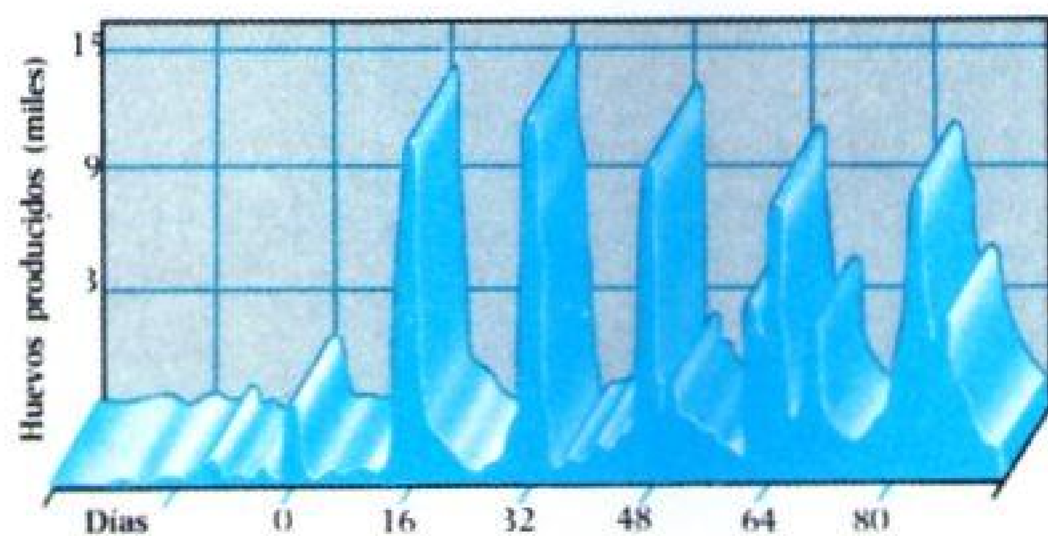
Para las cachipollas, el gusano palolo y el *Platynereis*, la función de





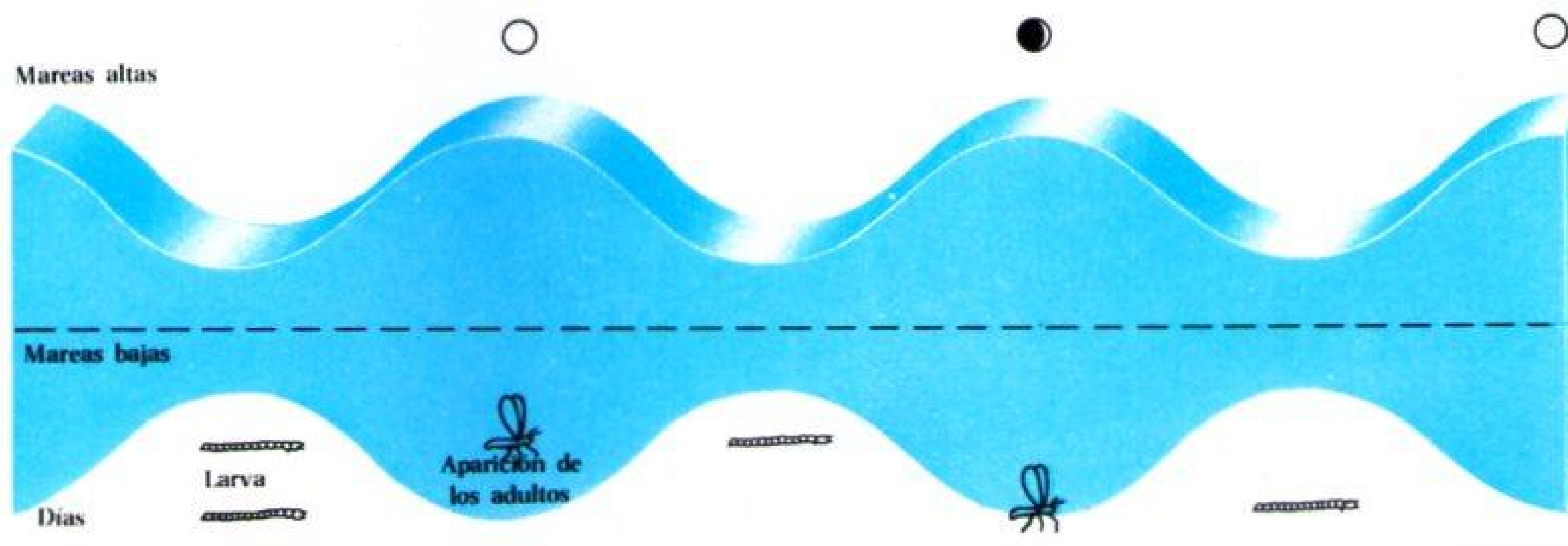
El pequeño gusano de mar verde, *Convoluta roscoffensis*, que vive justo en el límite de la marea muerta alta, en Bretaña, es en parte animal y en parte planta. El verde le viene de un alga que crece en simbiosis en sus tejidos, y de la cual obtiene carbohidrato. Esto se consigue por fotosíntesis, por ello el gusano ha de exponerse al Sol. Por la noche, durante la marea alta, permanece enterrado en la arena, pero durante el día, en las mareas bajas, sale arrastrándose al Sol, *arriba*. Resulta, de este modo, que acaba poseyendo una especie de combinación de ritmos tanto circadianos como de marea.





Durante la Luna llena y la Luna nueva, la marea alta es más alta que de costumbre, y la marea baja más baja. El ritmo de 15 días de las mareas vivas hace que el límite superior del hábitat mesolitoral quede sumergido durante unos pocos días, y que el límite inferior emerja. El alga parda, *Dictyota dichotoma*, vive en esta zona inferior de la marea viva, lugar en que deposita sus huevos y esperma para que se fusionen en el mar cada 15 días durante las mareas muertas más pequeñas, para evitar, se supone, que queden expuestos durante la marea viva baja. En circunstancias en que no haya mareas se mantiene el ritmo de desove, y se independiza cada 17 días, *izquierda*.

Las larvas acuáticas de la mosca enana, *Clunio marinus*, se alimentan de las algas rojas que crecen en las zonas de la marea viva baja de muchas playas europeas. Esta zona queda expuesta al aire unas pocas horas durante las mareas bajas, cuando hay Luna llena o nueva. Las larvas se convierten en crisálidas cuando las olas rompen sobre ellas, y cuando la marea ha descendido del todo emergen rápidamente, en forma de moscas enanas. Las que no evolucionan a crisálida han de esperar dos semanas hasta tener otra oportunidad. A *derecha* se muestra la regulación temporal de la aparición de los adultos durante la marea viva baja. En las condiciones estables del laboratorio las larvas mantienen su ritmo, y emergen como adultos en una de cuatro tardes, a intervalos aproximados de 15 días.



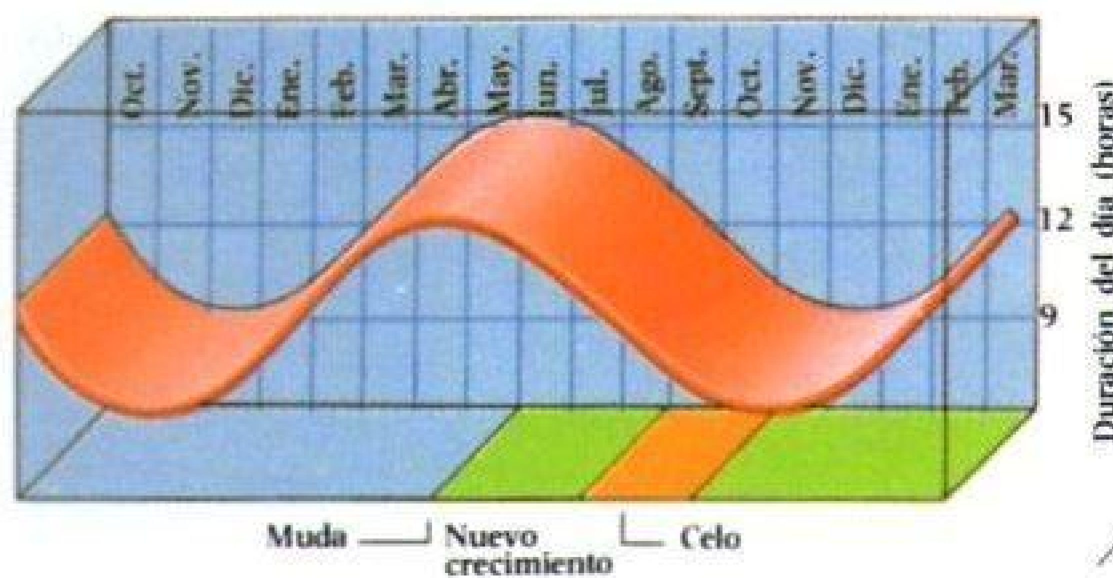
este pulular mensual es la de reunir a los dos sexos. Pero algunas especies vinculadas a la marea muestran ritmos lunares que no tienen que ver con la reproducción. No es fácil comprender por qué han desarrollado esta periodicidad, siendo que el ciclo semilunar de 15 días de las mareas vivas ha de ser mucho más importante en lo que se refiere a su supervivencia cotidiana. Aun así, todos los casos investigados hasta ahora muestran ritmos lunares independientes cuando se los sitúa en condiciones estables; así pues, todos ellos han tenido que desarrollar una capacidad interna para medir el período lunar, capacidad que se halla inscrita de modo indeleble en su código genético.

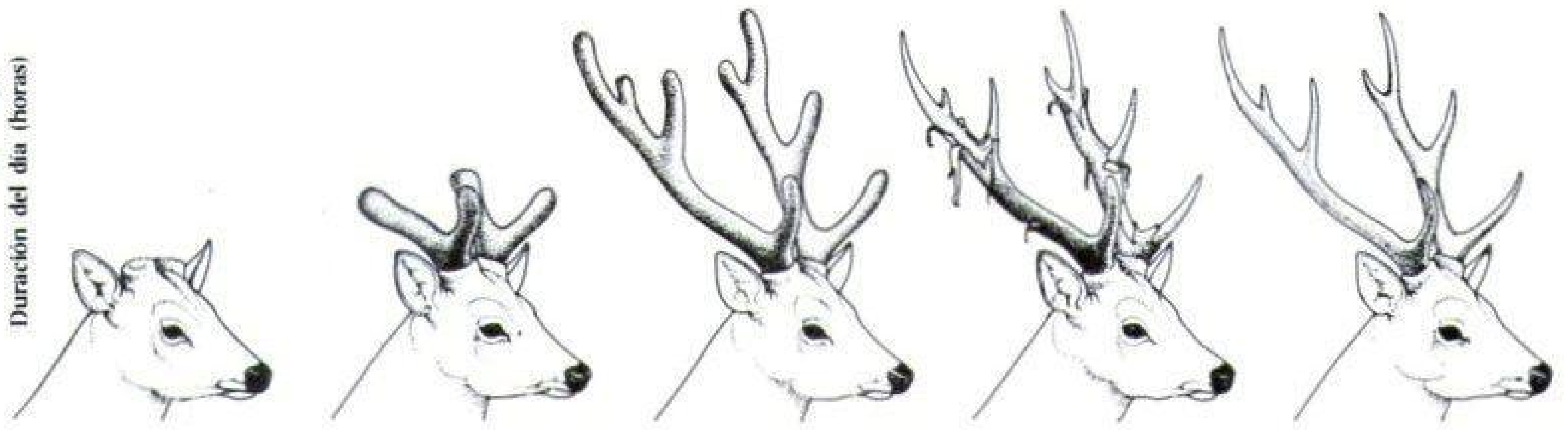
Está claro que ninguno de esos ritmos inducidos por la Luna, ya se trate del de 12,4 horas, del de 15 días o del de 29 días, se muestra independiente en la naturaleza. Como ocurría con los ritmos circadianos, éstos se ajustan al tiempo ambiental que resulte más adecuado y relevante, es decir, son arrastrados por las claves temporales externas. Los ritmos semilunares y lunares de unos pocos organismos que se han estudiado exhaustivamente son susceptibles de ser arrastrados por la luz de la Luna; así, por ejemplo, puede hacerse que los ritmos de la *Clunio*, el *Dictyota* y el *Platynereis* adopten la línea del entorno, sometiendo a los organismos a unas pocas noches consecutivas de iluminación lunar artificial una vez al mes, dentro de sus ciclos de 24 horas de luz y oscuridad, que permanecerían inalterados por otra parte. Lo que se hace en los experimentos es sustituir simplemente la oscuridad total de las noches por una luz tenue, controlada de modo que no se confunda con la luz del día.

En lo que se refiere a los ritmos bidiarios de la marea la cosa se complica un poco. El ciclo de 24 horas de día y noche que arrastra los ritmos circadianos, aunque la mayoría de las especies vinculadas a la marea lo distingan claramente, resulta confuso debido a su diferencia de 0,8 horas (48 minutos) con respecto a las 24,8 horas del «día» de la marea. Si los organismos vinculados a la marea usaran la luz como clave a la que ajustar su ritmo, sin duda se desfasarían con respecto a la marea en sólo unos días. Por lo tanto, lo que tales organismos utilizan como claves temporales de la marea son la perturbación mecánica del agua que se abalanza sobre ellos, o los cambios de temperatura, salinidad o presión, o cualquier combinación de estos fieles indicadores del ciclo de marea.

A corto plazo, el medio ambiente de las mareas ocasiona los ritmos más exigentes de la Tierra, pero a largo plazo la variación del año puede ser igual de rigurosa. Las latitudes más altas se vuelven totalmente inhóspitas en invierno, a no ser que las criaturas permanezcan ocultas bajo el hielo del mar, o entren en una profunda hibernación. Incluso en latitudes templadas, las plantas permanecen inactivas y la provisión de comida de muchos animales desaparece; así pues, tanto a las plantas como a los animales les resulta vital anticiparse a esta previsible crisis anual.

Se pueden imaginar tres formas para la consecución de este ajuste. La primera es que los organismos quizá puedan entrar en la inactividad invernal, o en la fase migratoria, cuando empiezan a verse en apuros, debido por ejemplo a las primeras heladas. Pero como por otra parte la escarcha, la lluvia, la sequía y otros desastres naturales semejantes son caprichos meteorológicos, no son indicadores fiables del cambio de las







La mayoría de los ciervos mudan la cornamenta que luego vuelve a crecer según un ciclo anual. Como este wapiti americano, *izquierda*, a menudo añaden una punta o dos cada año; la complejidad es pues un reflejo de la edad del ciervo macho. Normalmente la cornamenta se muda a finales de invierno o principios de primavera, y vuelve a crecer en verano. Antes de que dé comienzo la época de celo, en otoño, ha de desaparecer el revestimiento aterciopelado bajo el que se desarrollan los cuernos. En la ilustración *superior izquierda* se reproduce el ciclo anual de la cornamenta del ciervo oriental sika, y *arriba* la secuencia del nuevo crecimiento. Si se mantiene al ciervo sika en condiciones de iluminación diversas, se puede demostrar que el ciclo de la cornamenta se debe a dos factores: principalmente es una respuesta a los cambios estacionales de la duración del día, que varía entre 9 y 15 h.

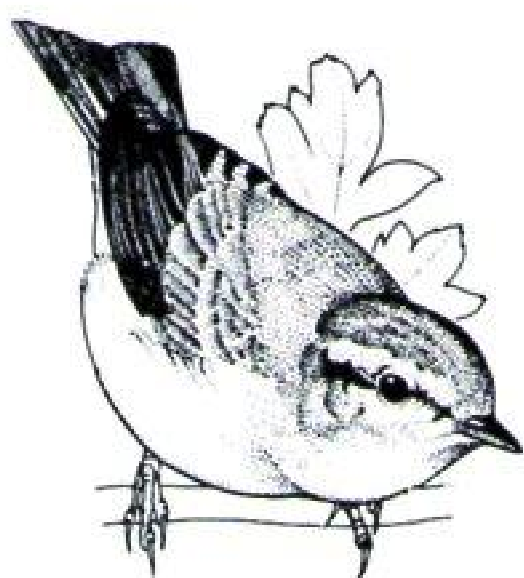
estaciones. La segunda posibilidad es que los animales y las plantas se sirvan del cambio de la duración del día, como vaticinador totalmente fiable de las estaciones. Esta capacidad de medir el número de horas de luz es la fotoperiodicidad, empleada sin duda por muchos organismos, para lo cual éstos han de tener una sofisticada capacidad de medición del día.

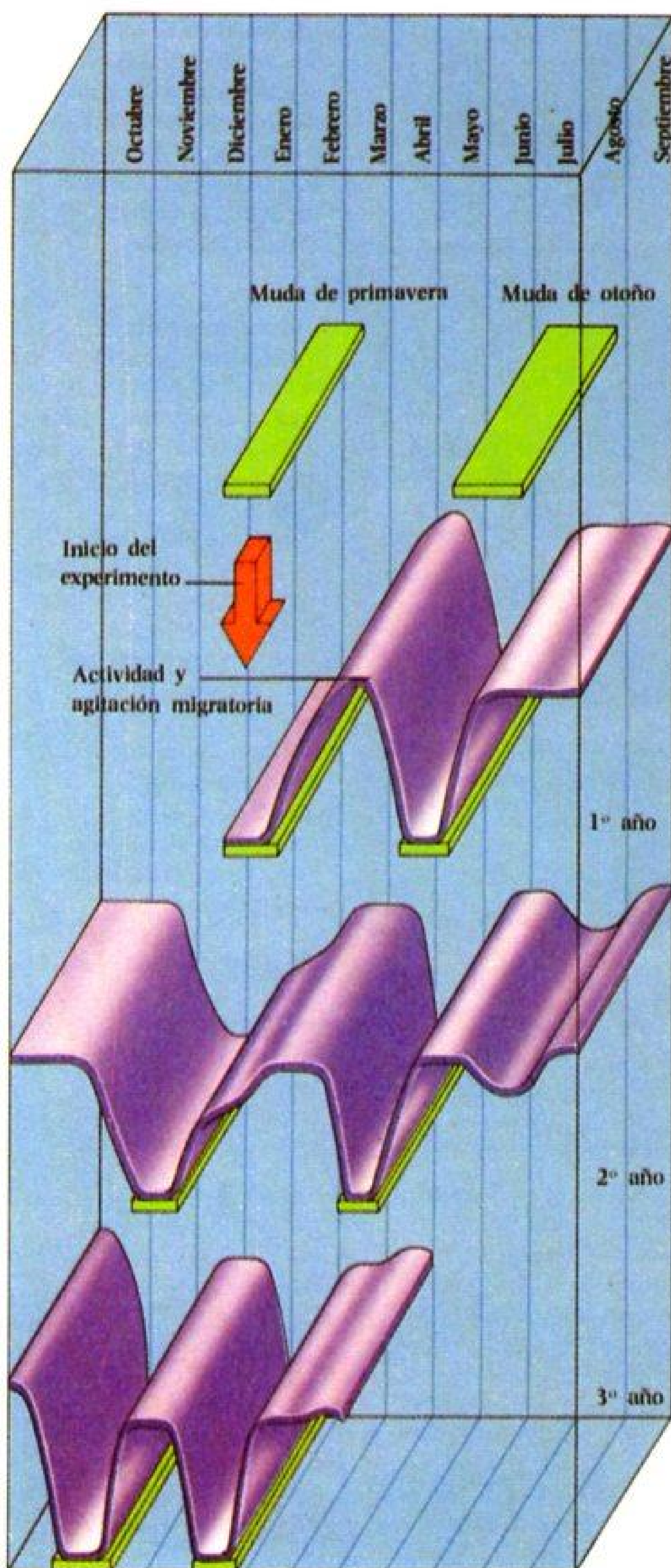
La tercera posibilidad sería que los seres vivos tuvieran un reloj endógeno anual, un tipo de reloj biológico semejante al circadiano. Por raro que pueda parecer, tales relojes existen aparentemente en una amplia variedad de organismos. Los relojes anuales probablemente se descubrieron al ser trasplantados a los trópicos por los colonos del siglo XIX algunas variedades de europeos, expuestos normalmente a la variación estacional de la duración de los días. Una vez allí, en un ambiente en el que la duración del día es prácticamente invariable, los árboles mantienen su ciclo normal de proliferación de las hojas, floración, etc., si bien tienden a desfasarse con respecto al año local, mostrándose, de hecho, independientes en este laboratorio natural.

En experimentos muy rigurosos, aunque no demasiado abundantes debido al tiempo que requieren, se ha demostrado que algunos animales y plantas presentan ritmos anuales independientes, en condiciones estables de 24 horas de luz y oscuridad. El *Anthrenus verbasci*, que ataca las alfombras, presenta incluso un ritmo anual constante, que surge en los adultos cuando se les mantiene en total oscuridad durante años. En todos estos ejemplos el acontecimiento anual, como el apareamiento, la migración o la muda, que ha de regularse temporalmente en la situación de independencia, puede producirse en cualquier época del año, y por tanto muy desfasado con respecto a las estaciones reales exteriores. Así pues, los animales y las plantas de los experimentos no están respondiendo a claves cósmicas no controladas, sino que sus propios cuerpos deben poseer un auténtico reloj endógeno de 365 días.

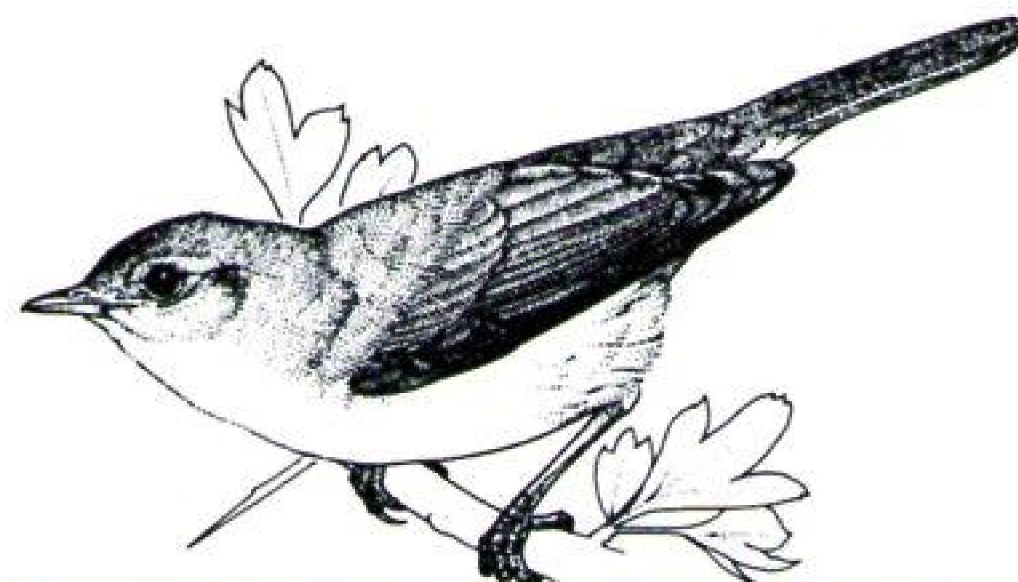
¿Qué es lo que en un entorno natural circunscribe los ritmos anuales a la duración exacta de un año? La respuesta no está del todo clara, pero posiblemente se trata de un cambio en la duración de los días. Es cierto que especies como los ciervos o mosquiteros musicales presentan a la vez ritmos anuales y respuestas al cambio en la duración de los días, lo que podría parecer una extraña mezcla de fotoperiodicidad, que es una respuesta directa a la duración del día y del mecanismo de cronometraje anual endógeno del organismo. Aunque se trata de dos fenómenos muy diferentes, ambos cumplen la misma función en la naturaleza, y marchan a la par. El ritmo anual hace que posiblemente la fisiología del animal, su producción de hormonas, por ejemplo, cambie hacia el momento adecuado del año, de modo que aquél pueda corregir su respuesta estacional cuando la duración del día sea la correcta.

Tras la observación y los experimentos realizados con animales y plantas, no cabe duda que los ritmos diarios, lunares, anuales y de las mareas son controlados por un cronometraje fisiológico subyacente (es decir, por relojes fisiológicos). Está claro que tales relojes no tienen nada que ver con los fabricados por el hombre, pero cualquier reloj, ya sea biológico o producto de la ingeniería humana, ha de constar en principio de los mismos cinco componentes básicos. El primero lo constituyen las agujas, los elementos visibles que indican el ritmo

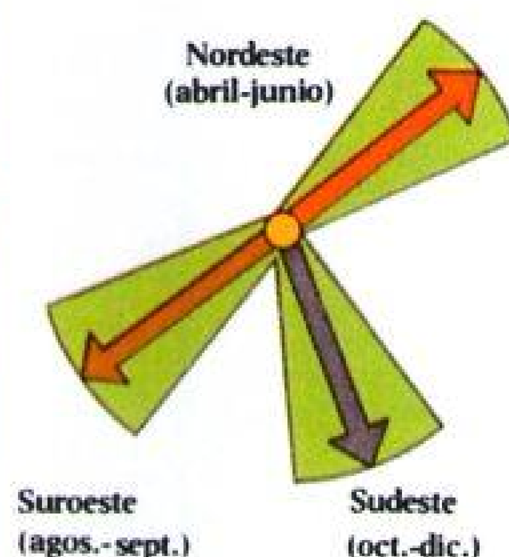




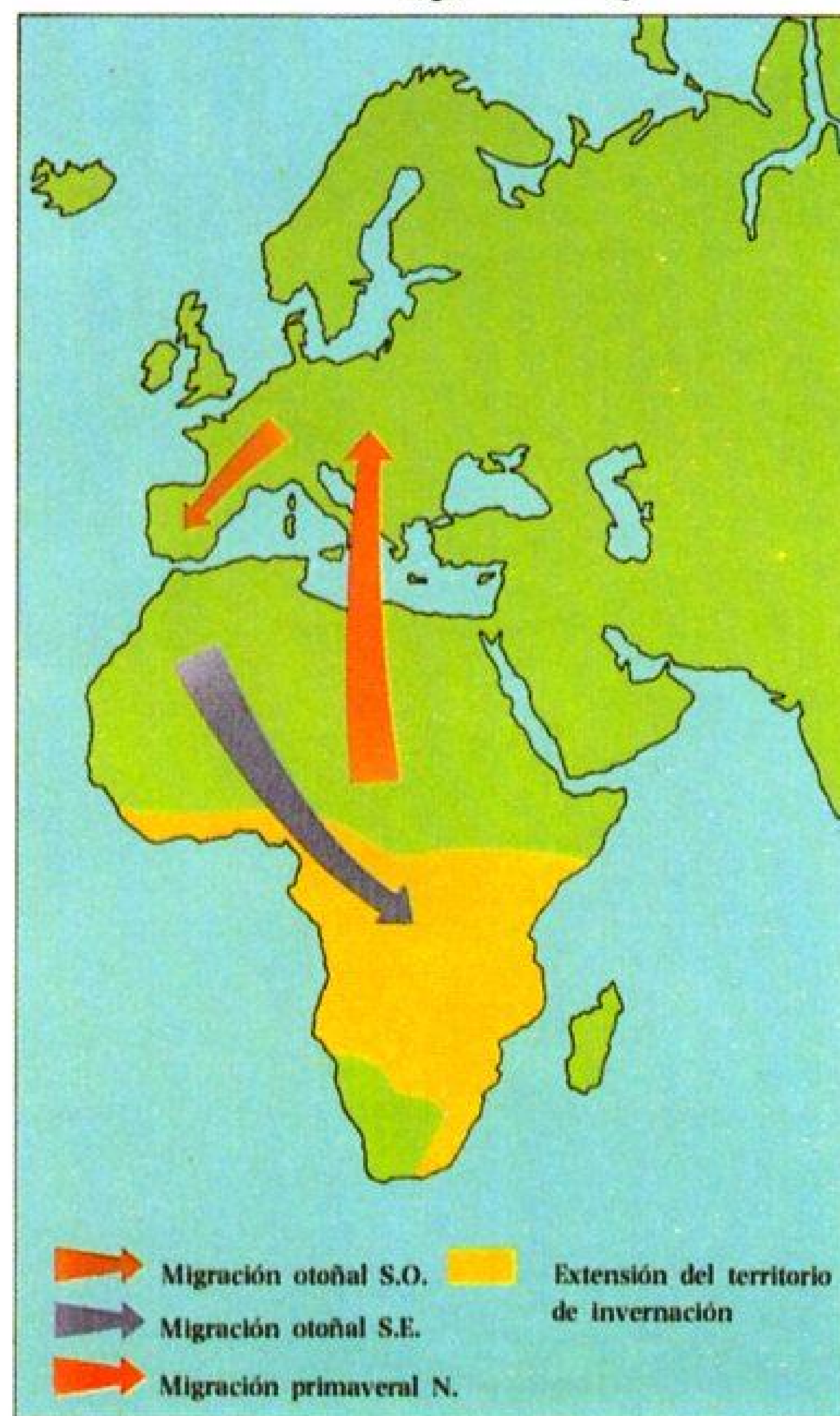
El mosquitero musical es un ave migratoria europea corriente, que llega generalmente a Gran Bretaña en abril. Como la mayoría de los otros pájaros sufre dos mudas al año: una a principios de primavera, antes de emigrar al norte y otra a finales de verano antes de emigrar al sur. Durante la muda, su actividad y su agitación migratoria se reducen al mínimo. Estas mudas se deben en parte a los cambios estacionales de la duración de los días. Pero si se les mantiene durante más de dos años en un ciclo estable de 12 h. de luz y 12 h. de oscuridad siguen mudando las plumas más o menos dos veces al año. Los resultados de estos experimentos muestran que el intervalo entre dos mudas de primavera o de otoño es de unos 10 meses. Los pájaros han de contar pues con un reloj interno aproximadamente anual, para calcular el momento de las mudas.



La curruca mosquitera europea tiene una ruta migratoria circular. En primavera emigra al norte, cruzando el Sahara y el Mediterráneo oriental, desde Centroáfrica. En otoño regresa sobrevolando el estrecho de Gibraltar, y gira hacia el sudeste sobre el Sahara.



Las currucas mosquiteras saben cuándo y hacia dónde emigrar. Existe un ingenioso plan anual impreso en la conducta del animal. Las currucas enjauladas en periodo de migración dan repetidos saltitos en su dirección migratoria normal. Es fácil registrar esos saltos: así se pueden verificar los intentos migratorios del pájaro durante largos períodos. Si se estabiliza artificialmente la duración de los días de modo que no existan claves respecto a la época del año, sus saltos apuntan en tres direcciones, *arriba*, que corresponden a su conducta anual en estado salvaje.



subyacente del reloj, mostrando qué hora es. El segundo es el «muelle real», la fuente de energía que mueve el mecanismo del reloj. El tercero es un sistema de «escape», el oscilador básico de transmisión que en los relojes mecánicos gobierna la oscilación del péndulo, o la combinación del volante y el muelle. El cuarto son las ruedas dentadas, la conexión entre el escape y las agujas. El quinto es la llave, mecanismo mediante el que se puede corregir el reloj de acuerdo con el tiempo local.

En los relojes biológicos las agujas son los ritmos cuantificables y visibles, que van desde una actividad acelerada y desde el movimiento de las hojas hasta las migraciones y la defoliación. Esos ritmos observables no forman parte propiamente dicha del mecanismo del reloj, sino que son meros indicadores del estado de éste en un momento dado. En teoría, el muelle debería ser el consumidor de energía del mecanismo fisiológico, pero el consumo es tan pequeño que no puede detectarse en el metabolismo general del organismo, que utiliza cantidades de energía comparativamente enormes. El escape de un reloj biológico es la fundamental e invisible oscilación rectora, el regulador temporal más importante.

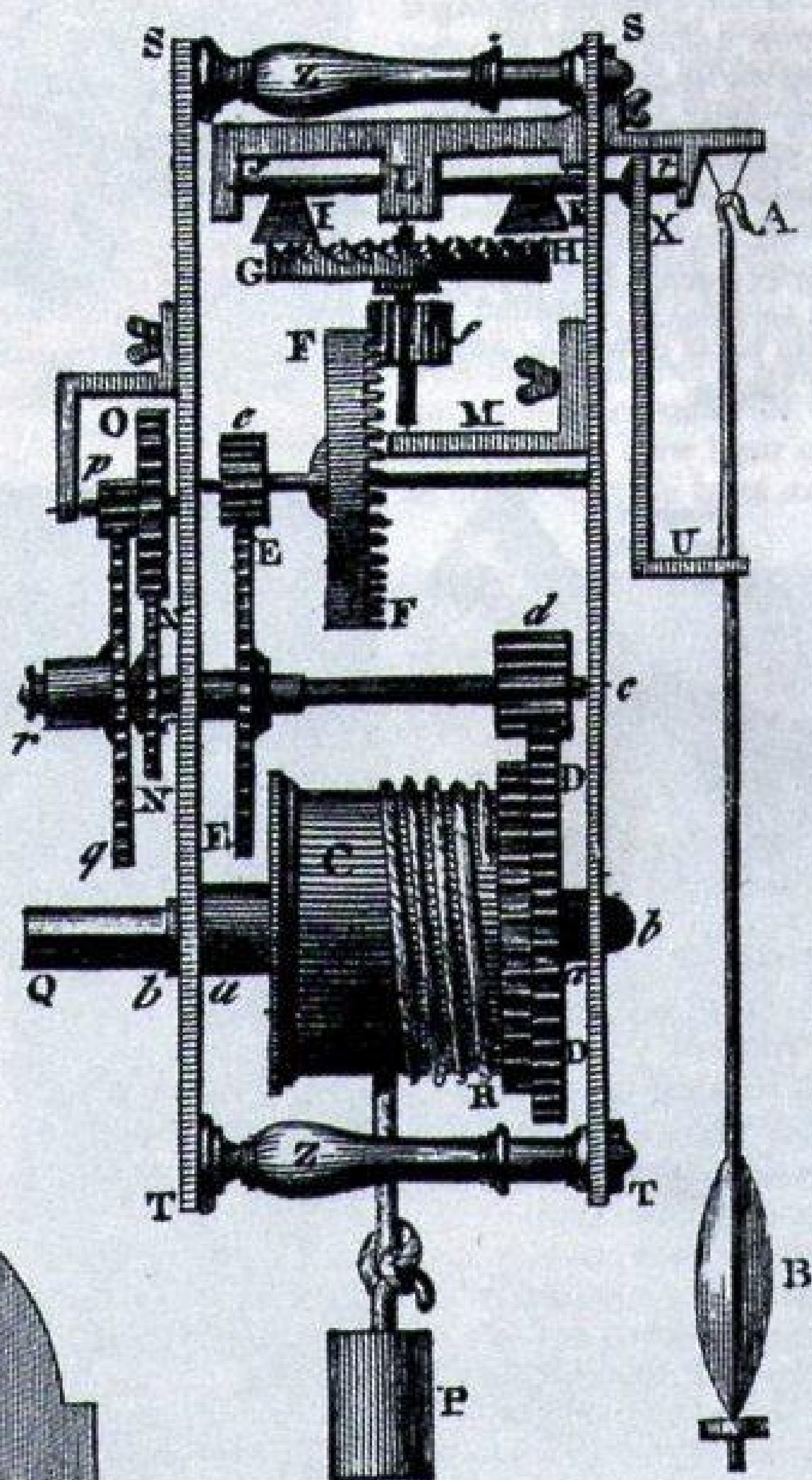
Los engranajes del reloj biológico son esos mecanismos fisiológicos de conexión, como las hormonas y los nervios, a través de los que el escape mueve las agujas. Aunque el arrastre del tiempo del entorno constituye una clave bien conocida del mecanismo de la «llave» de muchos relojes biológicos —lo cual incluye, por ejemplo, la percepción visual del día y la noche en los ritmos circadianos—, sin embargo, poco o nada se sabe de cómo se usa esta información dentro del cuerpo para reajustar el mecanismo de escape.

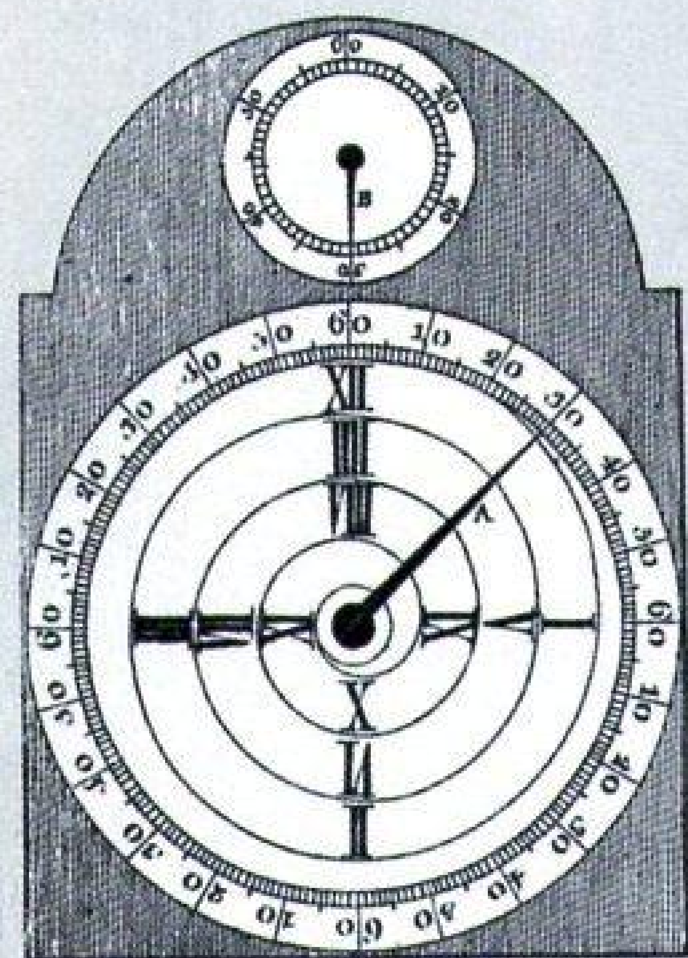
Los dos componentes del reloj de los ritmos circadianos de los que más se sabe son el «escape», u oscilador de transmisión, y las ruedas dentadas de transmisión. Se han propuesto tres teorías plausibles para explicar el funcionamiento del oscilador básico. La primera sitúa el mecanismo de relojería en el núcleo de la célula, donde están los cromosomas que contienen la información genética. Esas estructuras, parecidas a hilitos, se componen de unidades funcionales, los genes, que están hechos de ácido desoxirribonucleico (ADN), que actúa como si de un código de instrucciones se tratase para controlar todos los procesos vitales. La teoría propone que el período circadiano se mide, gracias a la indicación continua del código genético, de una cadena muy larga de ADN en un cromosoma.

La segunda teoría supone que el reloj se asiente sobre la bioquímica oscilante del organismo. El problema reside en que teóricamente es difícil derivar un reloj de 24 horas de las oscilaciones bioquímicas conocidas, pues todas ellas tienen frecuencias muy altas, midiéndose los intervalos de los ciclos en segundos, o, todo lo más, en minutos. La teoría propone pues que los ritmos circadianos se generan por una interacción de multitud de estas oscilaciones químicas de altas frecuencias, de modo tal que unas neutralizan a las otras hasta obtenerse un rendimiento neto lento.

La tercera teoría sobre el mecanismo de escape biológico propone que la oscilación circadiana es el resultado de cambios lentos de las membranas interiores de una célula. Tales cambios, que afectan a la permeabilidad de las membranas, ocasionan el que los iones, el potasio, por ejemplo, se filtren pasivamente por las membranas, de una parte de

Los relojes biológicos se asemejan a los mecánicos, pues ambos constan de los mismos cinco componentes básicos: muelle real, escape, engranajes, llave y manecillas. Este grabado de un reloj de péndulo antiguo muestra el trabajo conjunto de las distintas partes. El peso de abajo es el muelle real, que dirige la rueda de escape de arriba a través de un sistema de engranajes de interconexión. La rueda mantiene la oscilación del péndulo, y trasmite su ritmo a los engranajes que hacen girar las manecillas. La llave es el control que permite mover las agujas y poner el reloj en hora.



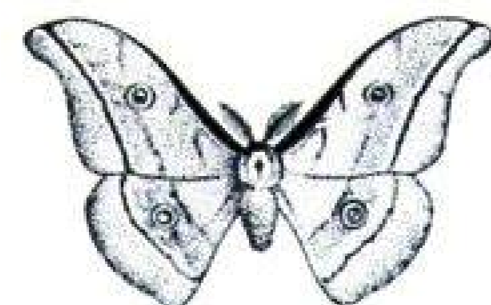


Los ritmos visibles del reloj biológico de un animal o de una planta son sus manecillas, y su metabolismo es el muelle real. El escape es el ritmo regulador de sus células; los engranajes son las hormonas y los nervios, y la llave funciona por medio de la fotosensibilidad de los tejidos del organismo.

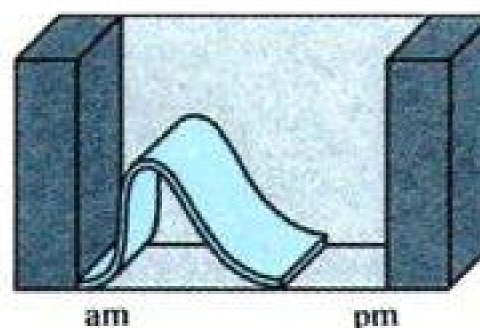


Hyalophora cecropia

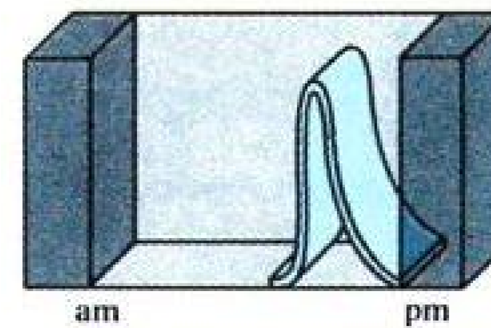
Los trasplantes de tejidos son relativamente fáciles de efectuar en estas mariposas de seda, porque son grandes y su cavidad corporal es un aparato circulatorio abierto, sin arterias ni venas.

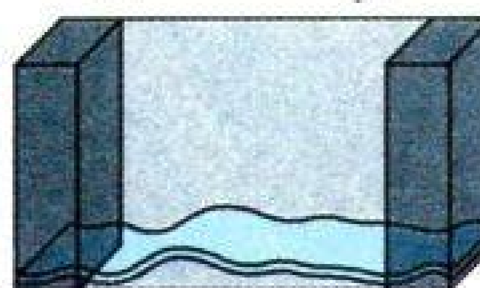


Antherea pernyi

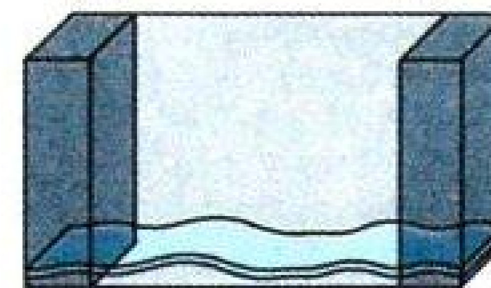


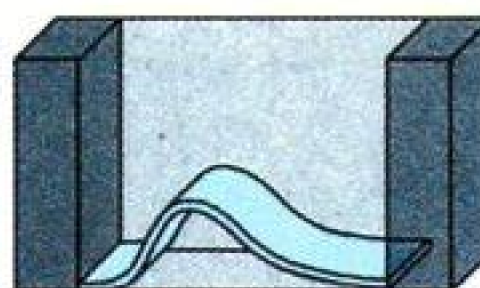
Las mariposas de la *Hyalophora* emergen de sus capullos de crisálida por la mañana, mientras que las de la *Antherea* lo hacen al final de la tarde.



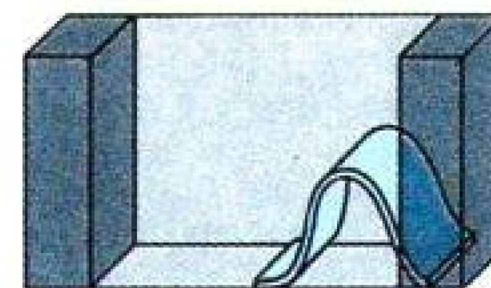


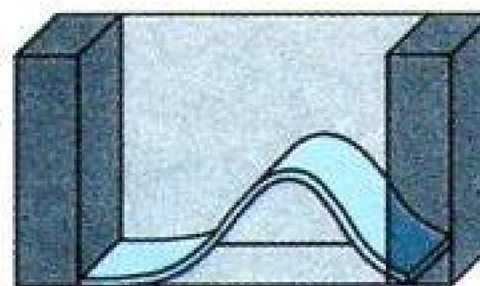
Este ritmo circadiano desaparece si se les extirpa el cerebro a las crisálidas; en última instancia emergen normalmente, pero al azar.



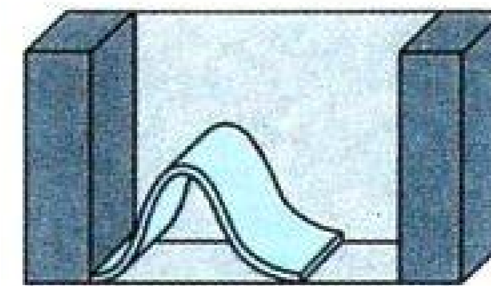


El ritmo diario normal de aparición puede recuperarse si se reimplanta el cerebro extraído en el abdomen de la crisálida.





Los ritmos se intercambian si se pasa el cerebro de una de las especies a la otra: las *Hyalophora* emergen entonces al final de la tarde, y las *Antherea* por la mañana.



La mariposa de seda adulta emerge de la crisálida a una hora concreta del día y, como queda indicado en la anterior serie de experimentos, esto se halla bajo control biológico. Si se extirpa el cerebro esta salida —el rasgar la crisálida y escurrirse fuera— se producirá a cualquier hora del día. Pero dado que el ritmo se recupera si se reimplanta el cerebro en el abdomen de la crisálida, ello indica que éste es necesario para una regulación exacta de la eclosión. Debe ser una hormona la que lo controla, dado que el cerebro trasplantado no tiene ninguna conexión nerviosa con el abdomen, y se encuentra simplemente bañado en sangre. Esta hormona cerebral conecta el ritmo circadiano de salidas.

El hecho de que se pueda transferir el ritmo de una a otra especie al intercambiarles los cerebros implica que el propio cerebro contiene el mecanismo regulador. Existe, de este modo, un reloj en el cerebro de la crisálida, que segrega una hormona a una hora concreta del día y que activa la salida del adulto.

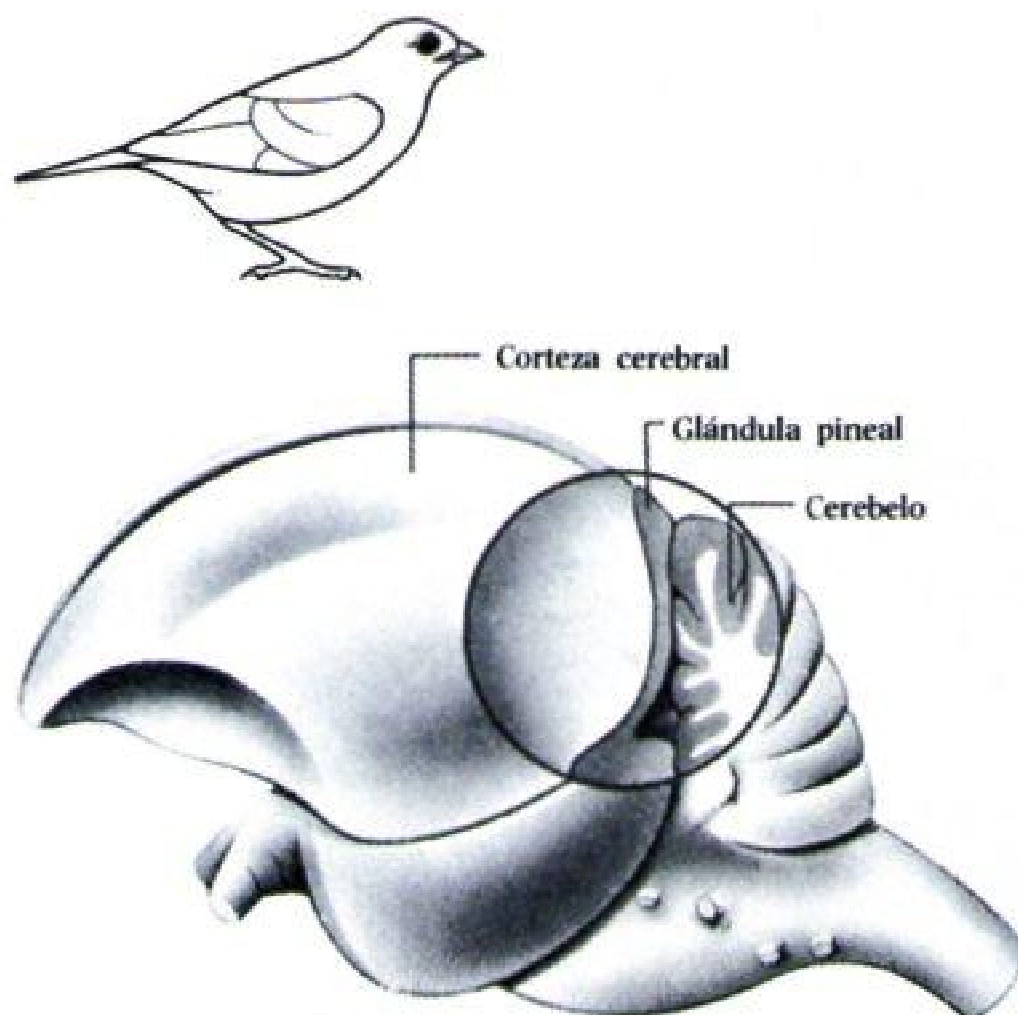
la célula a otra, y luego, cuando se llega a un cierto desequilibrio en la concentración, son bombeados de nuevo en dirección contraria. Existen excelentes modelos no circadianos de este tipo de situación en las membranas de los nervios y de otras clases de células. Además, mientras que la mayoría de los tratamientos químicos, bien no afectan a los relojes circadianos o bien los desbaratan, productos químicos como el alcohol o el agua pesada, que sin duda alteran la permeabilidad de las membranas de las células, de hecho retardan o desfasan los ritmos circadianos de plantas y animales. Ello implica que esas sustancias afectan directamente a los osciladores básicos del organismo.

A pesar de que el «escape» de las membranas celulares resulte atractivo, aún es pronto para rechazar la teoría del ADN completamente. La razón estriba en que hay dos antibióticos que inhiben de manera selectiva la confección de proteínas en las células —proceso que sólo es posible con la participación activa del ADN— y que además desfasan los ritmos circadianos. Así pues, el reloj biológico implica a la vez cambios lentos en la permeabilidad de las células y en el núcleo, gracias a su papel como sintetizador de proteínas para las membranas.

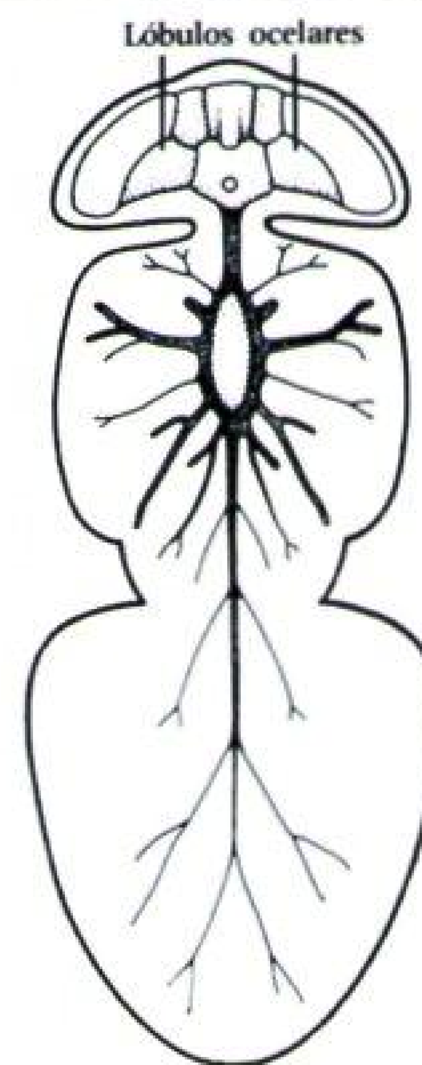
¿Qué ocurre pues con las ruedas dentadas que conectan el mecanismo de escape del reloj biológico con sus agujas? Constituye un aserto básico que los ritmos circadianos se desarrollan al unísono con la vida primitiva, de ahí que sean una propiedad esencial de cualquier célula. Las algas y los protozoos unicelulares —es decir, las plantas y los animales más simples— presentan sin duda ritmos circadianos, lo mismo que las células aisladas de plantas y animales superiores mantenidos en cultivo. Pero si cada uno de los millones de células que integran los organismos superiores contiene un mecanismo de relojería circadiano, ¿por qué determinadas operaciones, como sacarle el cerebro a una mariposa de seda, la glándula pineal a un pájaro, o los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo de una rata, convierten en arrítmicas a esas criaturas? La respuesta es que esas operaciones interrumpen tan sólo ritmos obvios de la *conducta;* y esto nos orienta con respecto a toda la organización circadiana de esos animales. Existen relojes distribuidos por todo el cuerpo, pero algunas células, como las del cerebro de la mariposa de seda, las de la glándula pineal del pájaro, o los núcleos supraquiasmáticos de la rata, se han especializado en la regulación temporal, resultando que actúan como relojes magistrales para todos los otros tejidos del cuerpo de la criatura.

Así pues, el cuerpo de animales y plantas consiste en una panoplia de relojes a muchos niveles de organización que han de marchar acompasadamente. Parece ser que todos esos relojes se distribuyen en una trama jerárquica, arrastrándose mutuamente hasta cierto punto, pero los relojes cerebrales, que controlan la conducta, son efectivamente los osciladores rectores primarios. En esta jerarquía, el resto de los relojes se subordina a los relojes cerebrales, pero el reloj de la glándula suprarrenal parece situarse en un punto más allá de la escala de la organización que los de las otras glándulas productoras de hormonas. De igual manera, los relojes hormonales parecen ser superiores a los de las células individuales. Los relojes cerebrales asumen su papel rector al controlar la conducta, pero también porque son los únicos relojes conectados directamente con los ojos y, en consecuencia, los únicos que experimentan el arrastre de las poderosas señales de la luz solar.

El reloj que controla los ritmos circadianos de un pájaro se localiza probablemente en la glándula pineal, en la parte superior de su cerebro. El «tercer ojo» no se usa para ver; no obstante, es sensible a la luz. Si se extirpa, la conducta del pájaro se vuelve arrítmica; su reimplantación restablece los ritmos. Si se intercambian las glándulas pineales de dos pájaros con horarios diferentes, el receptor asume el horario del donante. Esta glándula parece ser un reloj circadiano y, asimismo, una fuente rítmica de una hormona reguladora de la conducta.

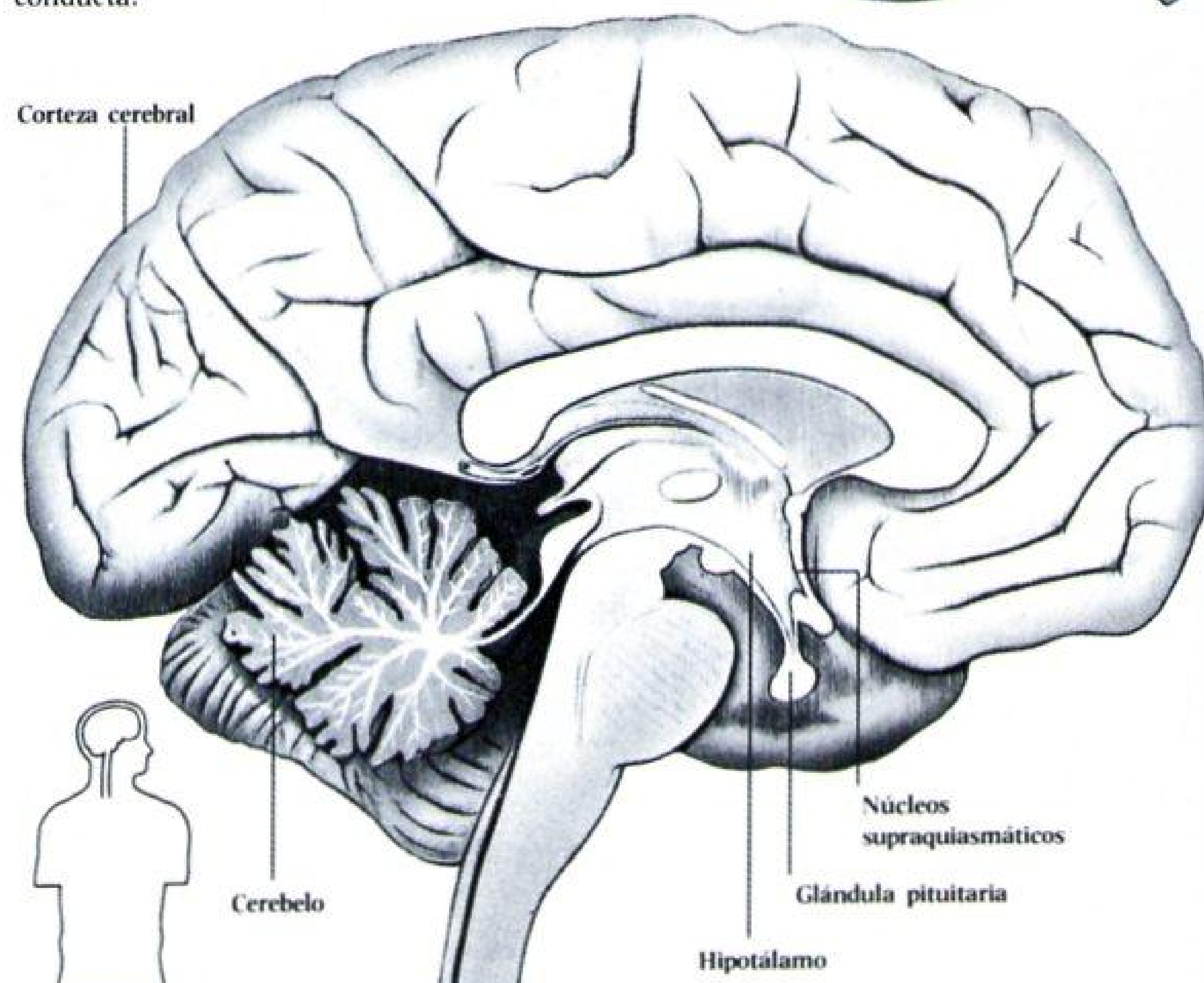




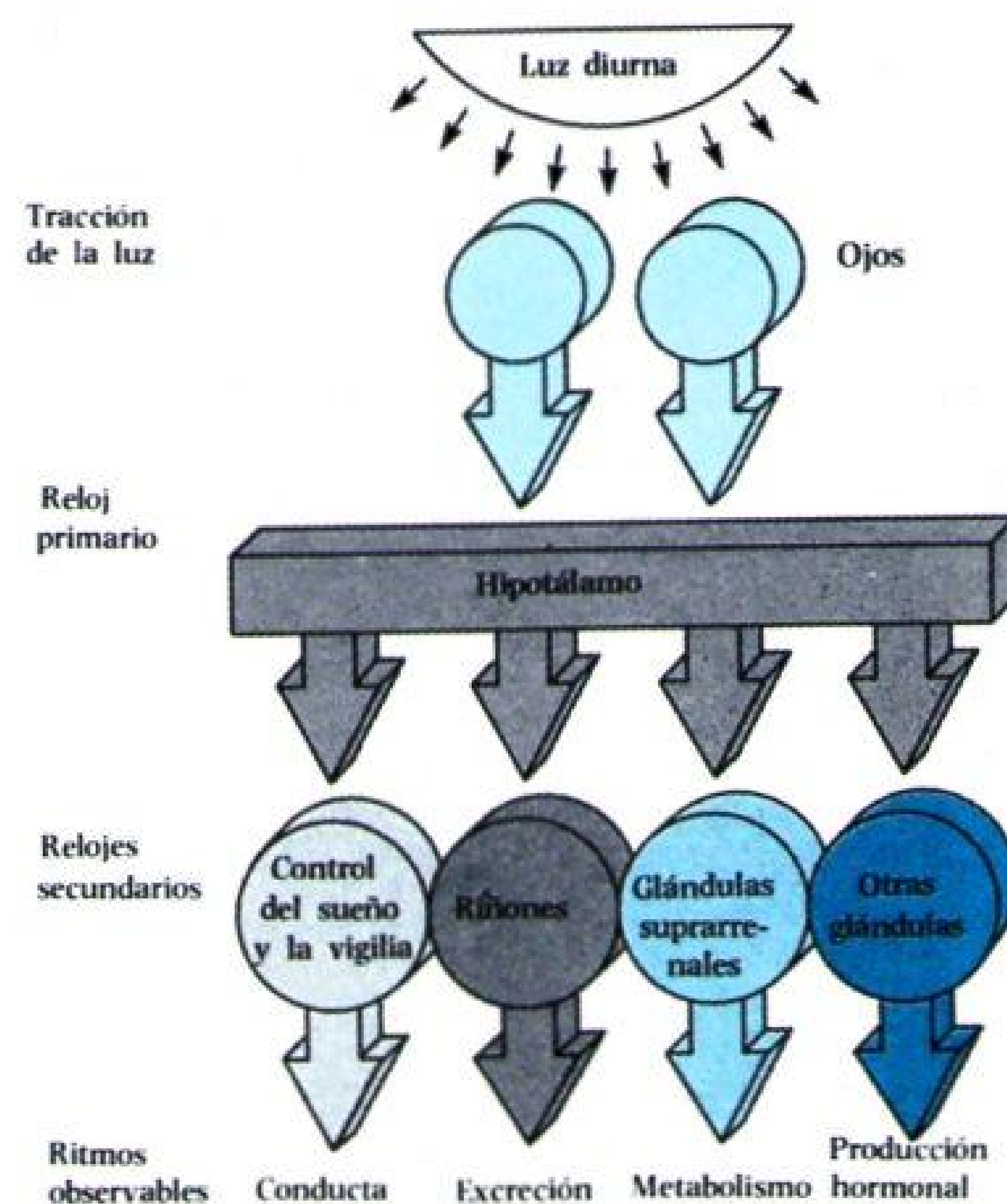


El cerebro de un insecto, como la mosca doméstica, es el principal centro nervioso de su cuerpo. Grupos de células cerebrales parecen actuar como relojes circadianos, que en algunos insectos se han localizado en los lóbulos ocelares, a ambos lados del cerebro.

Muchas funciones biológicas de los animales presentan unos claros ritmos circadianos. Existen también ritmos de excreción, de producción hormonal y del metabolismo de las células individuales. Estas funciones van al paso unas de otras, en perfecta armonía. Existe una jerarquía de relojes, quizá la que se indica *abajo.* En un mamífero, el hipotálamo se ve arrastrado por la luz diurna por medio de los ojos, y el mismo arrastra probablemente a los relojes de otros órganos, que a su vez ajustan los relojes de las células individuales.



Los ritmos de actividad diaria del hombre están dirigidos por un reloj en el hipotálamo: un área clave a mitad del cerebro, que controla funciones corporales como la temperatura, la tasa del metabolismo, el apetito y la sed. Las células forman dos pequeños grupos, los núcleos suprasquiasmáticos. Estas se ven arrastradas por la luz diurna, a la cual se ajustan, por medio de una energía nerviosa específica, que llega desde los ojos pero que nada tiene que ver con la visión normal. Al contrario que la glándula pineal del pájaro y que el cerebro de la mariposa de seda, estas células ejercen su influencia por medio de una ruta nerviosa directa, y no vía hormonas.







Los ritmos del sexo

Para asegurar la continuidad de la especie, los animales han de contar con un medio de reproducción. Sin embargo, este proceso de reproducción no es permanente: no hay especie animal capaz de reproducirse de modo continuo. Algunas criaturas pueden reproducirse en múltiples ocasiones a lo largo del año, pero otras, las más, sólo pueden engendrar durante unos pocos de los 365 días. La razón por la que el ritmo anual de reproducción está tan restringido es porque se trata esencialmente de un proceso de desarrollo. La hembra produce un solo óvulo que, fecundado por el esperma del macho, con el tiempo origina un nuevo animal independiente. La mayor parte de los invertebrados, las criaturas sin espina dorsal, producen sus óvulos y esperma en remesas y el proceso de fecundación y desarrollo del huevo tiene lugar fuera del cuerpo de la hembra. Por el contrario, en los mamíferos, incluidos los humanos, el huevo permanece dentro del cuerpo de la hembra. Tras la fecundación se produce un enorme desarrollo anterior al parto; resulta pues que la reproducción requiere una participación mucho más larga de todo el animal que, digamos, un acto motriz, de respiración o de digestión.

Debido a las restricciones inherentes a la reproducción continua, la necesidad de sincronización de los ritmos de reproducción de machos y hembras resulta acuciante, pues el esperma del macho ha de estar maduro y listo cuando la hembra haya producido sus huevos. Si los ritmos de uno y otro sexo estuvieran desfasados, la fecundación sería imposible y la especie no se reproduciría. Las fuerzas de la evolución han procurado la consecución de tal sincronismo, pero la producción simultánea de células sexuales maduras no es siempre suficiente. Ello se debe a que muchas especies —pájaros y mamíferos sobre todo— han de experimentar un cambio en su conducta anterior al apareamiento, que dura cierto tiempo. Sin cortejo, la desconfianza mutua y la agresión entre los sexos puede impedir que se realice el apareamiento, que por tanto ha de verse precedido por aquél. El cortejo se desencadena gracias a las alteraciones químicas que sufre el organismo en el proceso de maduración sexual.

Las claves concretas a que obedecen los animales para regular sus temporadas de reproducción son muchas y variadas. Algunas criaturas responden al alargamiento de los días en primavera, otras a su acortamiento en otoño, otras incluso a la cantidad de lluvia o al cambio gradual de la temperatura relacionado con las estaciones. Pero la delimitación temporal del apareamiento se adapta a la del nacimiento o la incubación, pues para que las crías gocen de una alta probabilidad de supervivencia deben nacer cuando la comida y otros recursos necesarios sean lo más abundantes posibles. Esto puede implicar enormes migraciones genéticas de los adultos. Algunos pájaros vuelan sobre medio globo para reproducirse, y algunas ballenas atraviesan océanos enteros.

El que los nacimientos se produzcan en el momento óptimo para la supervivencia de los más jóvenes constituye la clave de muchos fascinantes aspectos de los ritmos de reproducción de los grandes animales terrestres. Pero en el mar, donde la influencia de las estaciones, dejando aparte la duración de los días, es escasa, el problema reside en dar con el otro sexo para que pueda producirse la fecundación. La mayor parte de los animales marinos se aparean de forma rudimentaria: la hembra vierte sus huevos en el agua a su alrededor, y el macho hace lo mismo con su esperma. Así pues, teniendo en cuenta la inmensidad del océano, es de vital importancia que huevos y esperma sean liberados simultáneamente, si es que ha de producirse fecundación. La Luna resulta ser el coordinador esencial de tales acontecimientos al influir sobre el mar a través de las mareas. Estas provocan cambios rítmicos de la presión del agua que sincronizan la reproducción de los animales marinos, confiriéndole un ritmo.

La época del año durante la cual un animal es fértil, es decir, capaz de reproducirse, constituye su temporada de reproducción. Pero aunque la reproducción es la función más importante de un animal, la razón de su existencia, la temporada de reproducción dura sólo unos pocos días. La regulación temporal de este ritmo anual depende de toda una gama de claves ambientales que provocan la activación sexual del animal que se hallaba inactivo sexualmente. Iniciado el proceso de cambio, se inicia el ciclo sexual.

Los fenómenos del ciclo sexual de los mamíferos, seres humanos incluidos, constituyen el ciclo del estro de la hembra, que consta de dos fases bien diferenciadas: la fase folicular y la fase lútea. En la primera, la fase folicular, tienen lugar alteraciones de desarrollo en el ovario de la hembra, y algunos de los óvulos maduran. El ciclo completo es controlado por hormonas; las más importantes son las producidas por el frente o parte anterior de la glándula pituitaria, órgano pequeño pero muy importante, situado en la base del cerebro. Comienza el ciclo cuando la pituitaria anterior produce una hormona que actúa específicamente sobre las cápsulas o folículos en los que se hallan encerrados los óvulos en desarrollo. Esta hormona folículo estimulante o HFE ocasiona una expansión de los folículos y un agrandamiento de los óvulos en ellos contenidos. Pero la HFE hace también otras cosas, sembrando con ello la semilla de su propia destrucción. Obliga al ovario a empezar a segregar la hormona sexual femenina, el estrógeno, que pronto es lo suficientemente abundante como para controlar a la glándula pituitaria anterior a través del caudal de la sangre, lo que contribuye a reducir la producción de HFE.

La elevación del nivel de estrógeno y la disminución del de HFE marcan el final de la fase folicular del ciclo del estro. A continuación la pituitaria anterior, influida por el estrógeno y debido a la ausencia de HFE, comienza a segregar una segunda hormona, la hormona luteinizante (HL), que actúa ahora sobre el folículo del ovario de manera muy diferente. Su primer efecto consiste en desencadenar el proceso de la ovulación o liberación del óvulo. Al actuar sobre las paredes del folículo ocasiona su ruptura; el óvulo es depositado en una de las trompas de Falopio, que unen los ovarios al vientre o útero. El folículo, que estuvo nutriendo al óvulo durante tanto tiempo, juega ahora un nuevo papel. Bajo la influencia de la HL el folículo crece y rellena el espacio que estuvo antes ocupado por el óvulo. El folículo vacío, de color amarillento, recibe el nombre de cuerpo lúteo o cuerpo amarillo.

La segunda fase del ciclo del estro es la fase lútea, dominada por la aparición del cuerpo lúteo. Este comienza a segregar progesterona, la hormona necesaria durante el embarazo. Si el óvulo u óvulos de la hembra son fecundados inmediatamente después de su desprendimiento del ovario, el cuerpo lúteo que cada uno de ellos abandona sigue creciendo y segregando alimentos químicos. Pero si los óvulos no son fecundados, el cuerpo lúteo comienza a encogerse gradualmente y su producción de progesterona decae. La de estrógeno venía disminuyendo durante todo este tiempo; una vez que el cuerpo lúteo se ha extinguido definitivamente, la producción de progesterona cesa. Ello marca el final de un ciclo completo de estro. Libre ya de las restricciones impuestas por el estrógeno y la progesterona, la pituitaria anterior puede de nuevo segregar otra tanda de HFE, comenzando así otro nuevo ciclo.

Maduración del folículo

Ovulación

Desarrollo del cuerpo lúteo

Degeneración del cuerpo lúteo

Se espesa el revestimiento del útero

Se desprende el revestimiento del útero

Estrógeno

Progesterona

Menstruación

Es posible la fecundación del huevo

Menstruación

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 1 2 3 4 5 6

Días del ciclo

El ciclo menstrual de la mujer es uno de los ritmos humanos más familiares. En él todos los meses se producen los mismos acontecimientos, a no ser por el embarazo. En el ovario madura un huevo debido a la influencia de la hormona estimuladora del folículo (HEF), que es segregada por la pituitaria. A mitad de ciclo tiene lugar la ovulación, un huevo se desprende del ovario y se desliza por la trompa de Falopio hasta el útero. El nivel de HEF disminuye y aumenta el de la hormona luteinizante (HL), también segregada por la pituitaria. Esta hormona contribuye al desarrollo en el ovario del cuerpo lúteo, que a su vez produce progesterona. Bajo la influencia de la HL el huevo se implanta en caso de ser fecundado en el revestimiento del útero. Si el huevo no es fecundado, el cuerpo lúteo se descompone, el revestimiento del útero se desprende y el nivel de progesterona disminuye. Asociado a la menstruación se da un ritmo de temperatura, *derecha:* la temperatura corporal de la mujer aumenta con la ovulación. Este signo de fecundidad es el que se utiliza en el método «rítmico» de anticoncepción, y es importante para la terapia de la fertilidad.

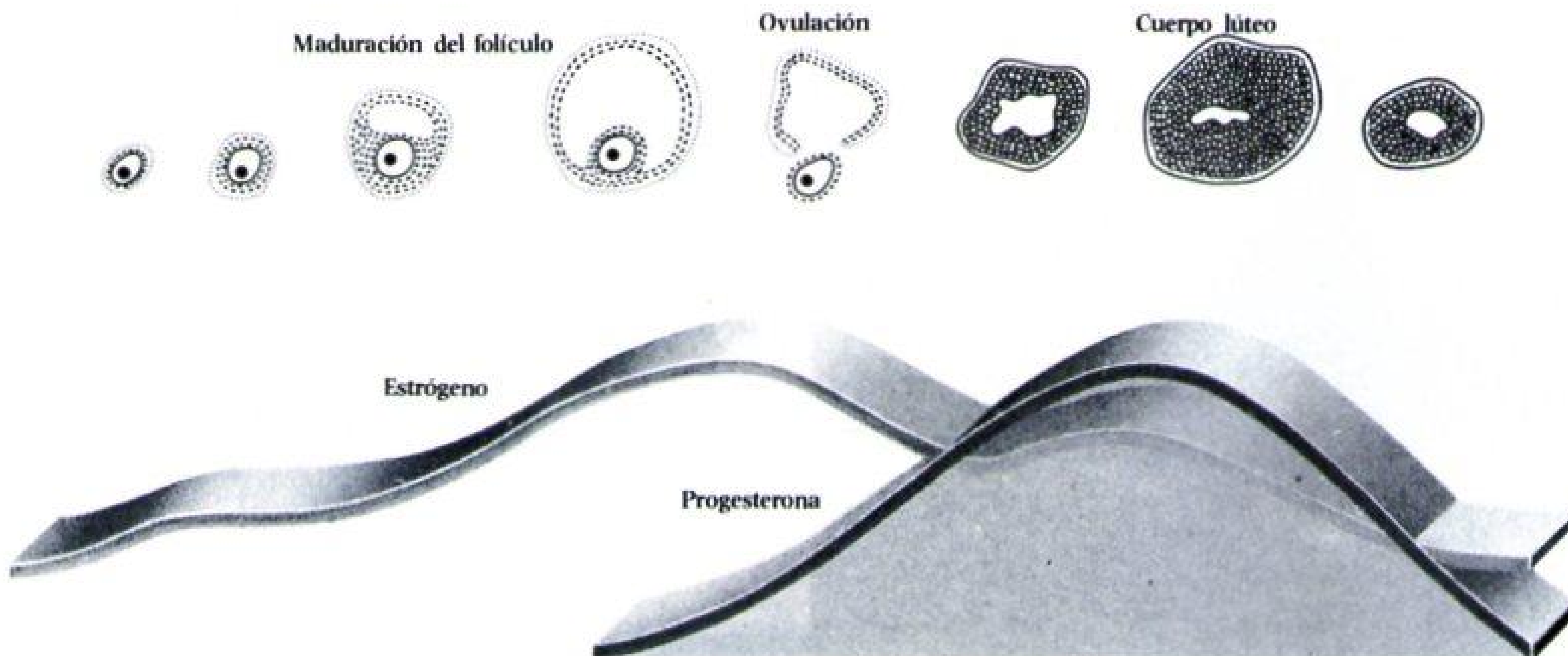


El hombre y unas cuantas especies de monos no tienen una temporada de reproducción rígida. Al contrario, los ciclos de estro se suceden a lo largo de todo el año. El ciclo humano se conoce como ciclo menstrual, pues su periodicidad es de aproximadamente 28 días. Aunque la base hormonal del ciclo menstrual humano es idéntica a la del ciclo de estro, existen dos diferencias importantes. Dejando a un lado al hombre y a algunas otras especies con menstruación, durante el ciclo de estro de los mamíferos se produce un período de celo que coincide con la ovulación, en el que normalmente tiene lugar el apareamiento. Se da además un cierto número de alteraciones de la conducta, muchas de las cuales pueden observarse fácilmente.

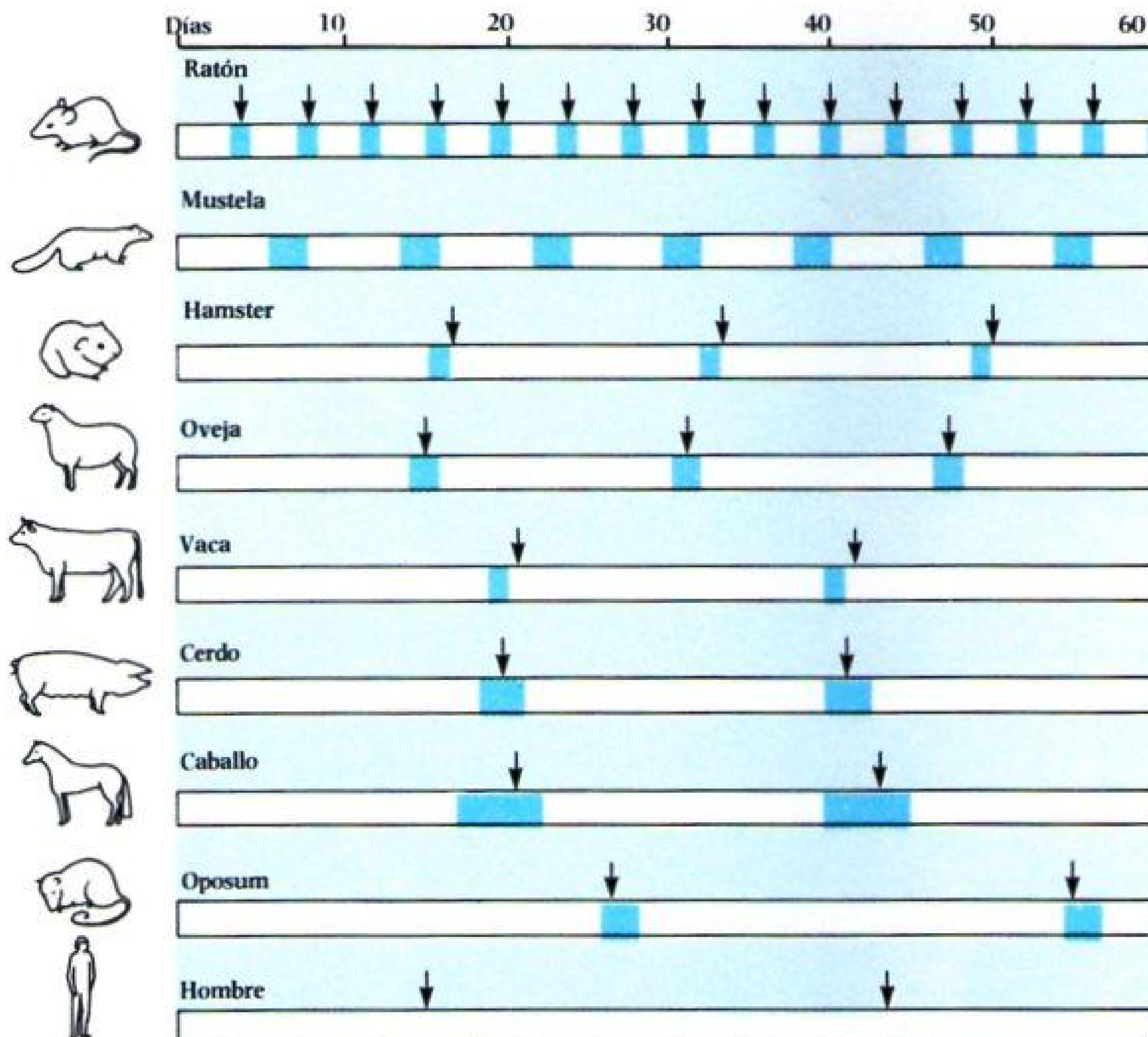
Lo peculiar del ciclo menstrual humano es sangrar unos tres o cinco días entre dos ovulaciones. Durante mucho tiempo se pensó que la menstruación era equivalente al celo del estro, y que, por tanto, coincidiría con la ovulación; hoy se sabe que esto no es así. Uno de los efectos de la progesterona en las especies que menstrúan es engrosar la pared del útero, preparándola para acoger y nutrir al huevo fecundado en caso de que éste se implantara allí. Si no se produce la fecundación y el cuerpo lúteo comienza a degenerar, desaparece el sistema de hormonas que mantenía a esos tejidos espesos y ricos en sangre. Unas veces despacio y otras repentinamente, la pared uterina se desembaraza de su recién adquirido espesor, preparándose para el nuevo ciclo. El sangrar durante el ciclo sexual no es un atributo exclusivo del hombre ni de alguno de sus parientes primates. Unas cuantas especies con ciclos de estro sangran un poco antes de la ovulación pero nunca tanto, ya sea en cantidad o duración, como las especies con menstruación.

Los cambios mensuales rítmicos de los niveles hormonales de la mujer son tan grandes que afectan de manera regular a otras partes del cuerpo además de los ovarios y el útero. Bajo la influencia de la progesterona los pechos de la mujer se hinchan ligeramente, alcanzando su talla máxima justo antes de la menstruación; pueden también volverse más sensibles al roce y escocer levemente. La nariz también se resiente a las oleadas hormonales. Durante la ovulación —más o menos a los 14 días tras el comienzo de la menstruación—, la sensibilidad a olores como el del almizcle aumenta diez veces o más, decreciendo repentinamente durante la fase de hemorragia del ciclo. La progesterona afecta también a las diminutas venillas de la nariz, y por ello muchas mujeres padecen hemorragias y bloqueos de nariz hacia el final de su ciclo menstrual. La progesterona segregada por la placenta durante el embarazo les provoca a algunas mujeres una pequeña irritación nasal. El efecto de la producción cíclica de progesterona sobre el sistema nervioso no está del todo explicado; de lo que sí hay abundante documentación es de la tensión premenstrual que padecen algunas mujeres antes del período, tiempo durante el cual se encuentran anormalmente ansiosas y tensas. Se dan además otros efectos raros: se ha observado que cantantes capaces de dar notas agudas perfectamente ven deteriorada esta capacidad hacia el final del ciclo.

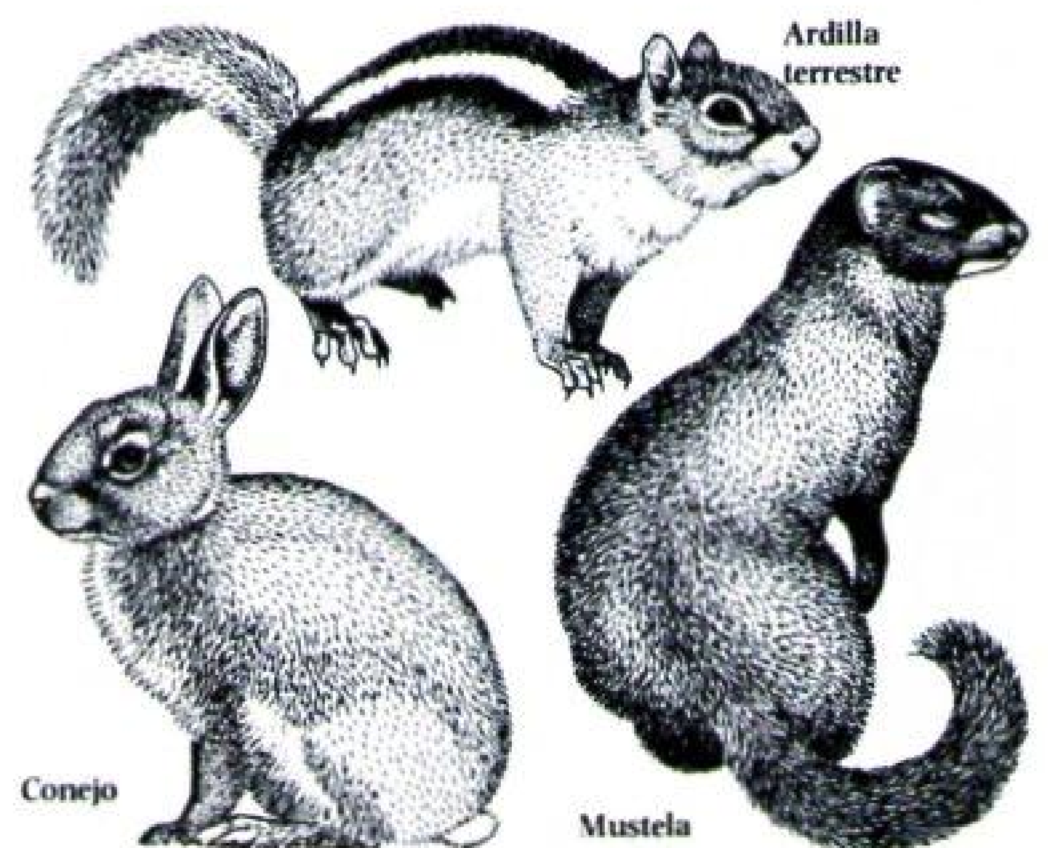
Los ciclos de estro de muchas especies de mamíferos pueden sincronizarse gracias a ciertos olores o ferhormonas, que emanan tanto de los machos como de las hembras. Se ha sugerido que los ciclos humanos son regulados por diversas sustancias olorosas que se encuentran en la orina y el sudor del varón, o incluso en el sudor de ciertas



La receptividad sexual de la mayoría de los mamíferos se reduce a un pequeño número de breves períodos del año, y no existe ciclo mensual. Durante estos períodos de actividad sexual el animal está en celo, y el desarrollo fisiológico del sistema reproductor se ve acompañado por cambios de la conducta. El auténtico estro viene señalado por la ovulación —la liberación de uno o más huevos del ovario— y está controlado por las mismas hormonas que el ciclo menstrual humano. En los pocos días que preceden al estro aparecen señales externas de fertilidad: cambios de la coloración corporal, hinchazón del área vaginal característica de algunos primates, y producción de intensos olores corporales. Después del estro el cuerpo se está preparando para el embarazo, y esta expectación es característica de muchas especies. Si el animal no queda preñado el vientre vuelve gradualmente a su estado de reposo, en espera de la siguiente temporada de reproducción.



Las mujeres son receptivas sexualmente durante todo su ciclo, aunque sólo son fértiles durante unos pocos días, *arriba*. Esta es una diferencia fundamental entre el hombre y otros mamíferos, algunos de los cuales tienen dos o más ciclos de estro por temporada de reproducción; otros no experimentan nada más que uno. Por lo general los mamíferos pequeños tienen muchos ciclos de estro en rápida sucesión. Los animales más grandes tienen ciclos de estro más espaciados, aunque la duración real del período de celo puede seguir siendo corta. El oposum constituye una curiosa excepción, pues aunque pequeño presenta largos intervalos entre los ciclos.



El estímulo físico del apareamiento les es necesario a algunos animales para ovular. A pesar de que experimentan un ciclo de estro regular sólo liberan los huevos durante la cópula, con lo que se evita despediciarlos. Todavía no se ha comprendido el mecanismo completo, pero parece ser que el estímulo del apareamiento libera la hormona oxitocina de la glándula pituitaria, lo cual desencadena la ovulación. El tejón, la mustela, el conejo, la ardilla terrestre y multitud de pequeños roedores presentan ovulación inducida.

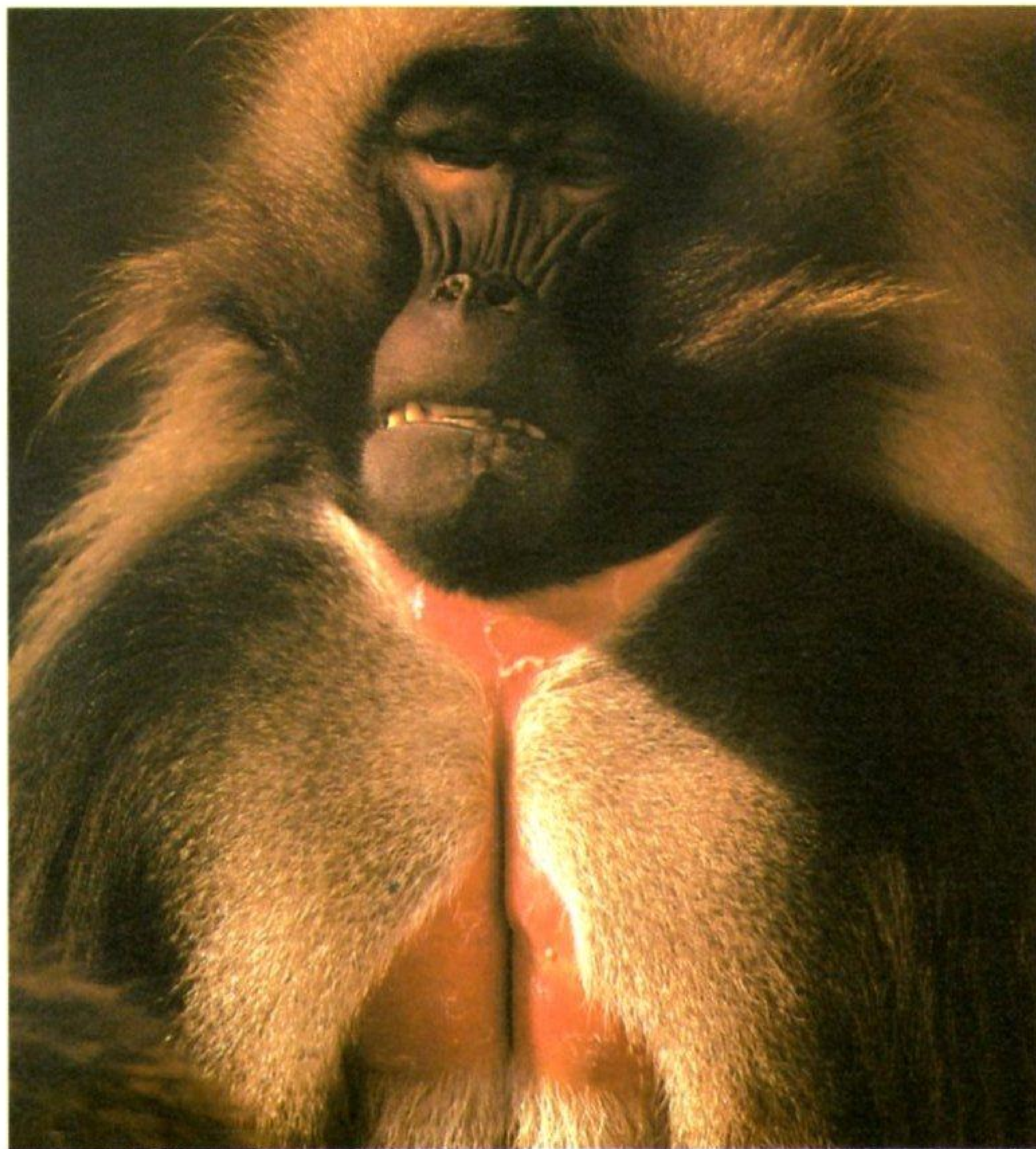
mujeres «conductoras», pero se requieren muchas más investigaciones para conocer el mecanismo exacto de este fenómeno.

El entrar en estro en una época determinada no serviría de nada si la pareja en potencia no se apercibiese de que ha llegado el momento de aparearse. Para evitar que esto pase inadvertido, las hembras de la mayoría de las especies han desarrollado ciertos medios que indican su disposición para la cópula. Al estar ligada al ciclo sexual subyacente, la señal aparece también con una regularidad cíclica. Los animales utilizan una amplia gama de claves sensoriales para pregonar su estado. Los ciervos y los antílopes, por ejemplo, se mueven pavoneándose, lo que constituye una señal visual; mientras que las ballenas y los delfines emiten complicadas «canciones». Muchísimos mamíferos desprenden olores sexuales cuando llega el momento de aparearse.

Entre las proclamas sexuales más curiosas del reino animal se cuentan las de los parientes del hombre, los primates. En muchas especies, como el chimpancé, el zambo, el mangabey y el macaco, el comienzo del estro es pregonado por una enorme tumefacción de los labios vaginales. En algunos chimpancés no sólo se hinchan hasta convertirse en enormes esferas de más de 30 cm. de ancho, sino que cambian de color, volviéndose de un rosa intenso o incluso escarlata. Sin embargo, el olor de las secreciones vaginales puede influir sobre la cualidad de la señal visual. El abultamiento de la hembra del zambo es a finales de su ciclo, ya preñada, tan grande como antes, pero aun así el macho apenas muestra ningún interés sexual por ella. Está claro pues que las secreciones comunican un importante mensaje olfativo que suprime el estímulo visual, de importancia definitiva anteriormente.

Está claro que un mensaje sólo surte efecto si el receptor puede descifrarlo. Existe evidencia de que los machos de un cierto número de especies sólo pueden descifrar el mensaje que les informa de que la hembra está sexualmente dispuesta cuando ellos mismos se encuentran en época de reproducción y listos para aparearse. Fuera de la temporada de reproducción, el macho y la hembra del espino de tres espinas, *Gasterosteus aculeatus*, se parecen tanto que es difícil distinguirlos. Pero al irse desarrollando los testículos del macho, el ciclo de las hormonas provoca la aparición de un tono rojo sobre toda la zona ventral. Cuando el macho avista una hembra plateada inicia una danza nupcial, a lo que ella responde adecuadamente, desencadenándose una cadena de reacciones que desemboca en el apareamiento. Un macho en celo responderá ante cualquier cosa roja como ante un rival, pero fuera de esta época los objetos rojos no le afectan.

Otros animales anuncian su receptividad sexual aplicando olores especiales a diversas partes de sus territorios. Las glándulas del cuello y del pecho de muchos primates son muy sensibles a las hormonas sexuales. Según avanza el ciclo sexual esas glándulas excretan mayores cantidades de sustancias químicas olorosas. Esta reacción se ve acompañada de una variación cíclica de la frecuencia de la conducta de delimitación por el olor. A veces el olor va dirigido a los otros individuos del mismo sexo; por ejemplo, los machos de gran cantidad de felinos marcan muy claramente el área que contiene a sus hembras. Sin embargo, al hamster dorado *(Mesocricetus auratus)* el olor le sirve para atraer al sexo opuesto, pues se trata de seres solitarios que sólo se reúnen durante un breve período para aparearse. La hembra tiene un



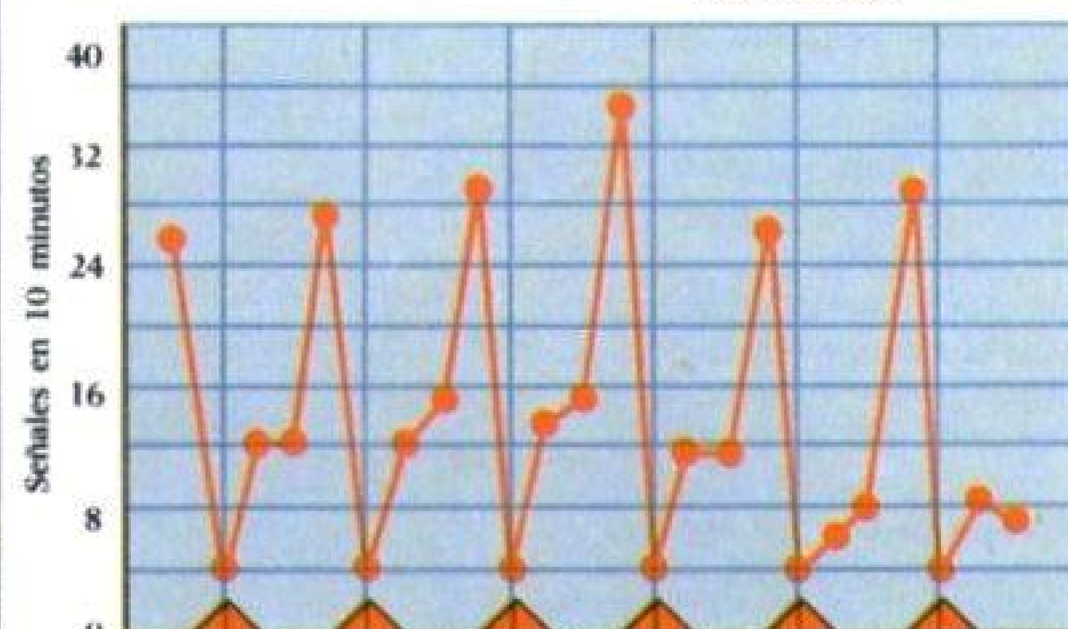
Cuando se dispone a aparearse, la hembra del gelada *Theropithecus gelada* hace ostensible su receptividad por medio de una gruesa tumefacción de color escarlata en su vagina, y con intensos olores vaginales que atraen al macho. También su pecho se vuelve rosa, se ahueca y queda rodeado por un collar de promontorios blancos. Estos cambios son debidos a un aumento del estrógeno, hormona esencial para que se libere un huevo que pueda ser fecundado.



Durante la época de reproducción el vientre del macho del espino de tres espinas, *Gasterosteus*, se vuelve de un rojo brillante debido a la influencia de la hormona testosterona, elaborada por sus testículos. Esta coloración disuade a otros machos de entrar en su territorio de cría. La hormona le vuelve también muy agresivo.



La hembra del hamster dorado, *Mesocricetus auratus*, proclama que ya está lista para la cópula señalando su territorio con intensos olores vaginales. En cuanto se libera un huevo, el número de señales disminuye rápidamente.



ciclo de estro de cuatro días, pero sólo dejará que el macho se le aproxime durante un período receptivo de 20 horas. Para atraer al macho, la hembra se dedica frenéticamente a dejar marcas olorosas poco antes del estro. El olor de las secreciones vaginales transmite un mensaje muy atractivo, que la hembra esparce por toda su madriguera arrastrando por el suelo su orificio vaginal mediante un determinado meneo. La frecuencia de la señalización ha de ser 30 veces mayor el día anterior al estro que durante el estro propiamente dicho.

Aunque los humanos no tienen época de reproducción ni señales obvias que indiquen la ovulación, algunos investigadores aseguran haber descubierto un ritmo de la actividad sexual. En Europa y América del Norte la mayoría de los embarazos se producen en primavera y a principios de verano, y la mayoría de los nacimientos entre enero y marzo. En el hemisferio sur las estaciones más populares son las mismas, aunque los meses están medio año desfasados. Pero no hay explicación elemental que aclare la inversión que se produjo en Puerto Rico entre 1940 y 1960 desde el patrón típico del norte al del sur. Otros estudiosos han tratado de demostrar que la frecuencia de la cópula es mayor a mediados del período de la mujer, y también poco antes de la menstruación, pero el caso no ha sido aclarado.

En el hombre y en el resto de las especies en las que el macho inserta su pene en la hembra durante la cópula, el acto sexual constituye en sí mismo una actividad rítmica. Los repetidos embates físicos del varón provocan oleadas de contracciones involuntarias del músculo liso de la vagina, que pueden ayudar a transportar el esperma hasta el útero y las trompas de Falopio, para que se produzca la fecundación. Esas oleadas del orgasmo —que, en contra de lo que se suele pensar, no son esenciales para la concepción— se producen con intervalos aproximados de 0,8 segundos y siguen de cerca el ritmo de la eyaculación del varón, conforme al que es bombeado el esperma y los líquidos a él asociados.

Dado que la mayoría de las especies animales presentan una reproducción estacional, resulta pertinente preguntarse qué es lo que inicia tal época. Los factores que desencadenan la conducta reproductora han desconcertado durante mucho tiempo a los zoólogos. En algunas especies de pájaros y mamíferos del Norte, la fecha de comienzo de la temporada de reproducción se puede predecir con gran exactitud; la liebre, por ejemplo, siempre se aparea a finales de marzo. La regulación de otras especies es más variable. Probablemente no se trate de un único factor que funcione a modo de interruptor de la temporada de reproducción. Al contrario, posiblemente la interacción de dos o más factores ambientales, como la duración del día y la temperatura, inicie una cadena de hechos fisiológicos y de comportamiento que conduce a la unión sexual.

Se han realizado estudios sobre patos macho en los que el aumento cíclico del tamaño de los testículos, característico del comienzo de la temporada de reproducción, se produce en ausencia total de luz o de claves relacionadas con la temperatura y otros factores. Ya se mantenga al pato en la oscuridad total o con luz permanente, se observan los mismos ciclos, pero queda claro que la amplitud de esos ciclos es menor que en el caso de los cambios estacionales normales; así pues, los testículos no crecen tanto como en condiciones naturales. También la

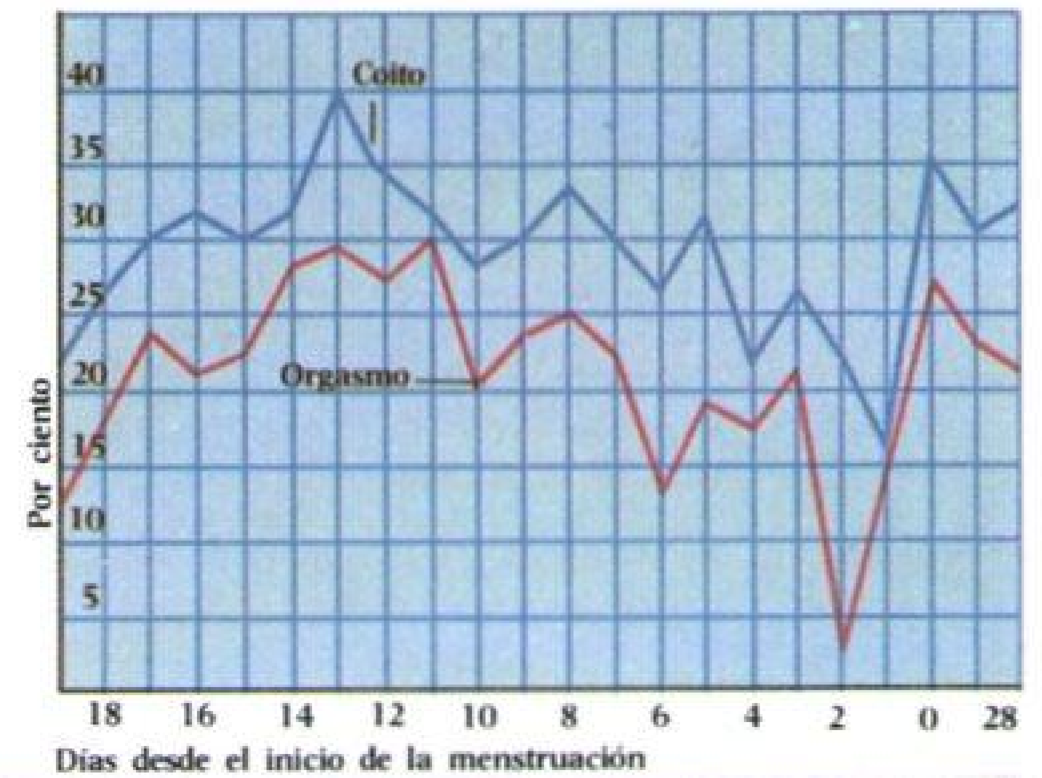
Un veraneante bien recibido en los bosques de roble del noreste de E.E.U.U. es el *Piranga olivacea.* Cuando llegan los machos y las hembras, tras de pasar el invierno en Sudamérica, ambos son del mismo color parduzco-amarillento, *derecha,* pero según se alargan los días, al desarrollarse los testículos del macho, éste muda su plumaje pardo por otro de un brillante rojo escarlata en la espalda y la pechuga, *abajo.* La pareja construye un nido de palos y ramitas en lo alto de un árbol, y el macho con su brillante atavío defiende sus dominios de los asaltantes. El no participa en el empolle de los huevos, pero ayuda a buscar insectos para la comida de los voraces polluelos. Tras de la época de reproducción al macho se le cae su brillante plumaje y recupera el color indefinible de su compañera. Al acercarse el invierno, la pareja emigra al sur y retorna a la primavera siguiente.



Coloración de período sin crianza



En un intento de analizar la conducta sexual humana en relación con el ciclo menstrual, 40 mujeres registraron los momentos del coito y de sus menstruaciones durante varios años. Los resultados, *derecha,* indican una frecuencia máxima de coito y orgasmo hacia la mitad del ciclo (en la ovulación). Ambas descienden al mínimo durante la menstruación.





La cópula es prolongada en los grandes mamíferos predadores, como el tigre, *Panthera tigris,* pues no corren el riesgo de ser atacados durante el coito. Hasta que no está en estro, la hembra aleja repetidamente al macho. Luego un poderoso deseo sexual le hace vencer su temor, entonces le permite acercarse y cubrirla. La primera cópula puede que sólo dure uno o dos minutos, pero la pareja se apareará hasta 20 veces al día durante las 3 semanas del período de estro de la hembra. Se ha descubierto que en los gatos domésticos la fricción de la cópula estimula la liberación de un huevo del ovario, y probablemente lo mismo ocurre con el tigre. También en los perros y en algunos grandes herbívoros se da la copulación prolongada.

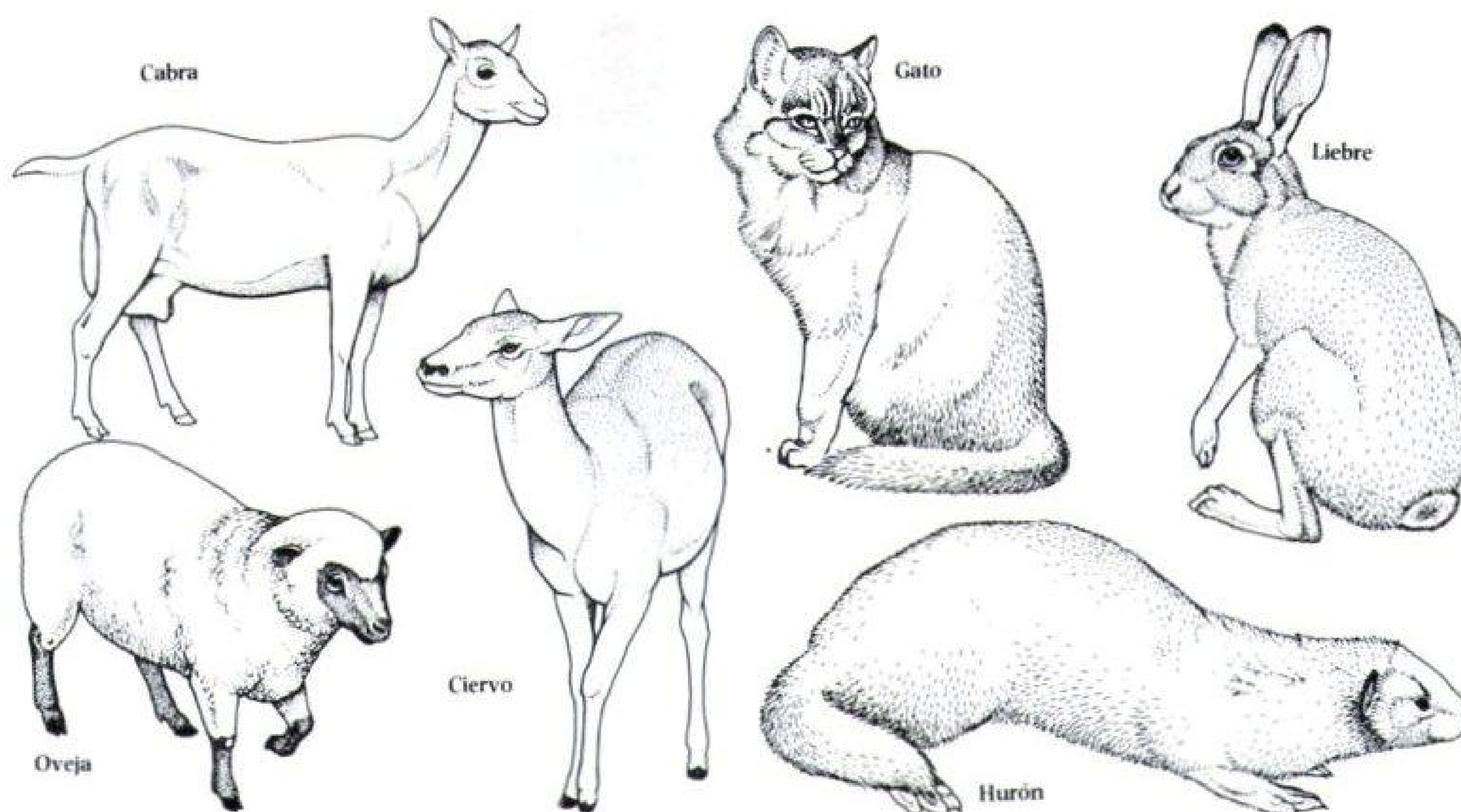
periodicidad de los cambios es menor, de modo que la temporada de reproducción no dura tanto como de costumbre. Otros estudios realizados con ovejas a las que se mantuvo bajo luz permanente durante tres años revelaron que el inicio de la reproducción seguía siendo el mismo que el de las ovejas bajo condiciones de luz natural. Se ha especulado con que algunos animales tienen un ritmo sexual inherente o endógeno.

Existe gran cantidad de datos que muestran que la luz es lo que desencadena la reproducción en muchas especies de vertebrados. Algunos responden al alargamiento regular de la duración del día en primavera; se los conoce, pues, como reproductores de día largo porque procrean cuando éste va aumentando, mientras que otros —los reproductores de día corto— responden a la disminución otoñal de los días. Las especies pequeñas, con un período de gestación breve, se aparean y paren en unas pocas semanas; son estas especies —como las ardillas y otros pequeños roedores, pequeños insectívoros como las musarañas y erizos, y pequeños carnívoros como los gatos, hurones, mapaches, comadrejas y mangostas— las que se sirven del aumento de la duración del día como clave para su temporada de reproducción. Procreando en primavera, tales especies se aseguran de que sus crías nazcan en verano, cuando la comida es más abundante y de mejor calidad, y cuando las temperaturas ambientales son más altas.

Las especies grandes, cuyo período de gestación es de seis meses o más, no pueden servirse del aumento de la duración del día para iniciar su actividad sexual. Si así lo hicieran, sus crías nacerían en otoño o a principios de invierno y contarían con pocas posibilidades de supervivencia. Tales animales están pues adaptados para responder a la disminución de la duración del día. Entre los reproductores de día corto se cuentan ovejas, cabras y ciervos, todos los cuales paren en primavera, cuando las reservas alimenticias son abundantes. Las especies mayores como el caballo, cuyo período de gestación dura 10 meses o más, responden a la clave del alargamiento de los días en primavera, calculando pues la llegada de sus pequeños para comienzos de la primavera siguiente.

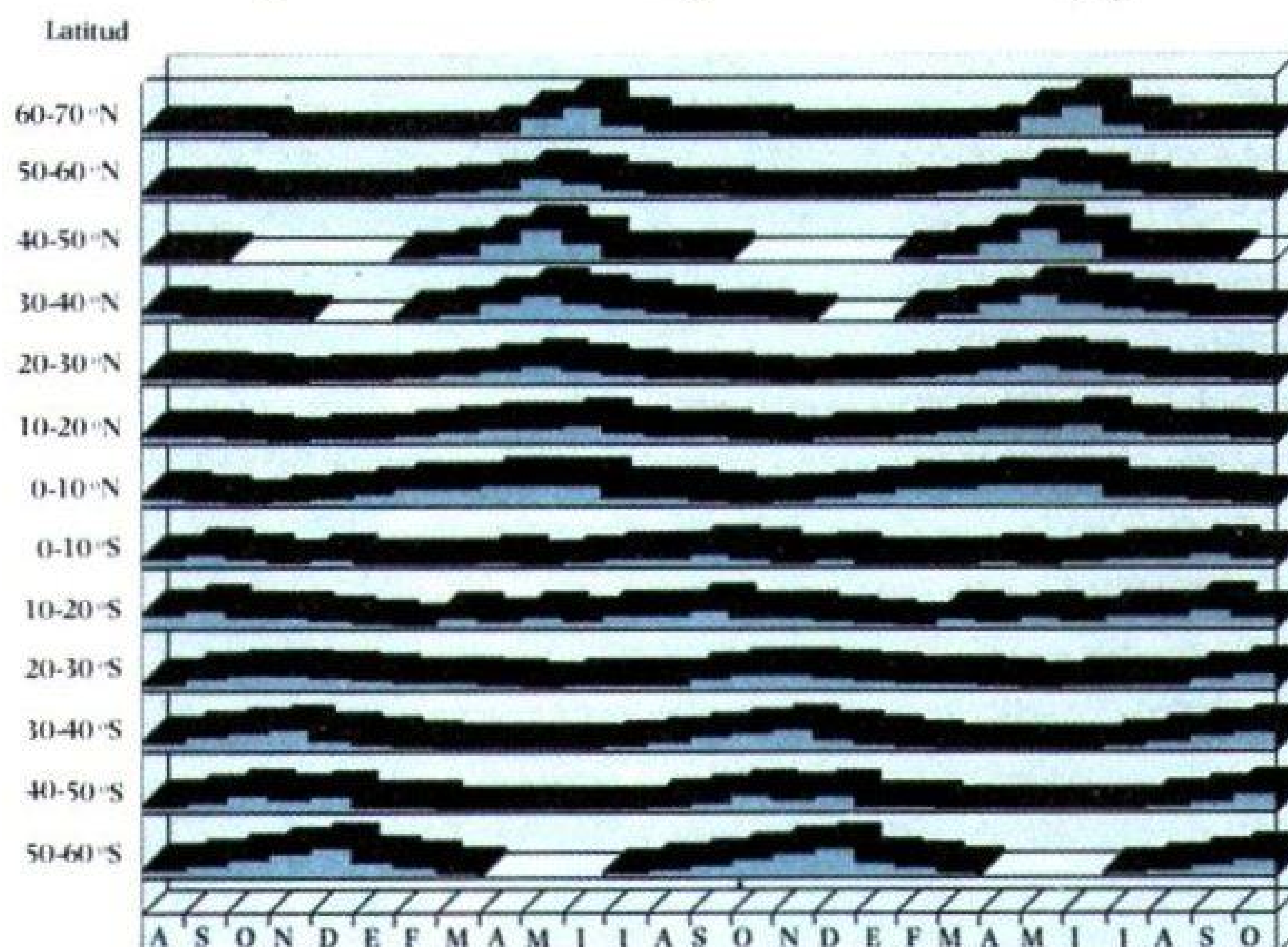
¿Cómo influyen realmente las claves de duración del día sobre los cambios hormonales asociados con el ciclo de reproducción? No se ha hallado aún una respuesta totalmente satisfactoria, aunque sí se ha progresado mucho en lo referente a la comprensión de los mecanismos implicados. Lo que se sabe es que en las gónadas (ovarios y testículos) de los animales que no tienen glándula pituitaria anterior no existe ninguna respuesta a la duración del día o fotoperíodo. Ello no ha de sorprendernos, ya que precisamente la pituitaria anterior es la encargada de producir HFE al comienzo del ciclo de reproducción. Lo que sí resulta sorprendente es que los ojos no sean siempre imprescindibles para la respuesta de las gónadas. A las ratas y los hurones, por ejemplo, les son necesarios los ojos —y los nervios ópticos que los conectan con el cerebro—, mientras que a los patos no. Si se inserta en el cerebro de un pato macho una pequeña varilla de fibra de cristal de menos de 1 mm. de diámetro, y se transmite la luz a la parte del cerebro adyacente a la glándula pituitaria, habrá aumento de los testículos.

Siguiendo el camino de las hormonas producidas por la luz nos topamos con una estructura cerebral muy misteriosa y poco investigada: la glándula pineal. En algunos lagartos la glándula pineal asoma

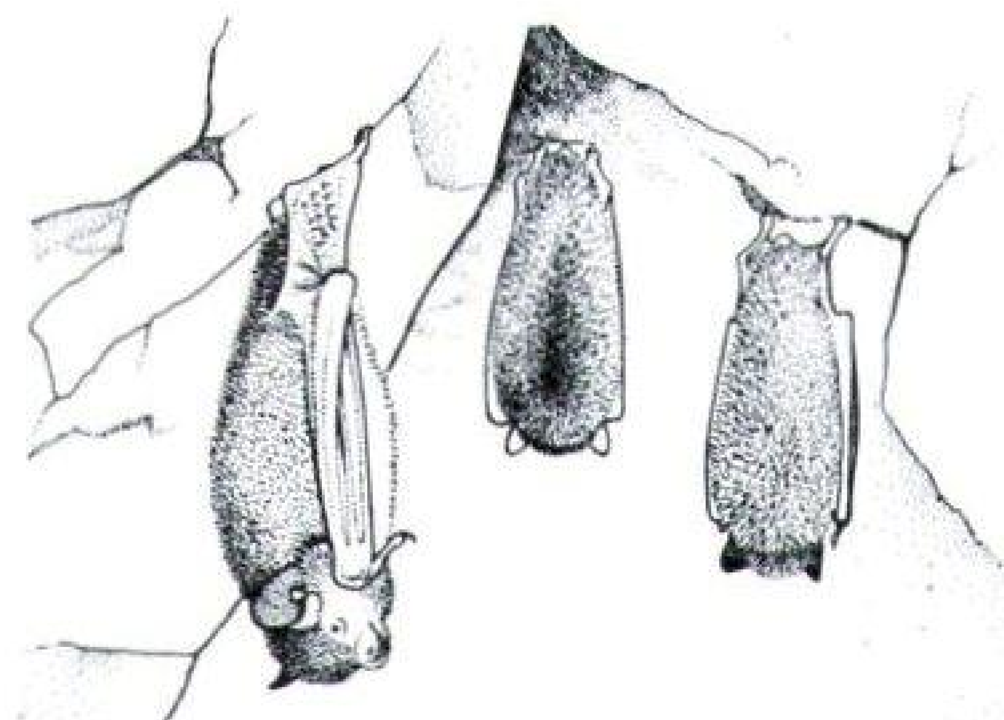


La clave para el éxito de la reproducción animal es que la cría nazca en la época del año en que tenga más probabilidades de supervivencia. En los trópicos, el comienzo de la época de reproducción coincide normalmente con el inicio de la estación de lluvias. En las zonas templadas, donde los inviernos son más crudos, resulta más conveniente que los partos se produzcan a principios de primavera, cuando hay abundante comida. Así pues las especies grandes, con períodos de gestación de más de seis meses, como las cabras, ovejas y ciervos, deben aparearse en otoño, cuando los días se acortan.

Los pequeños mamíferos, como el gato, la liebre y el hurón, tienen períodos de gestación breves. Ello les permite aparearse a finales de invierno y parir en primavera. La clave que activa pues su ciclo de reproducción es el aumento de la duración del día. Todavía no está claro cómo esto desencadena los mecanismos hormonales que permiten que comience la reproducción, pero parece que la glándula pineal del cerebro tiene algo que ver. La mayoría de los roedores son reproductores de día largo, pero si se da un otoño suave nacen crías en pleno invierno.



El momento concreto del inicio de la época de reproducción depende de las condiciones climatológicas locales. Las especies tienden a reproducirse sincrónicamente según se avanza hacia latitudes más altas, porque ahí el tiempo atmosférico obliga a que el apareamiento y el parto se sucedan en un breve período. El gráfico indica el número de especies de pájaros que ponen los huevos en la misma época, en distintas latitudes. Los pájaros incluyen el zorzal común, *Turdus ericetorum*, *Protonaria citrae* y el *Zonotrichia leucophrys*.

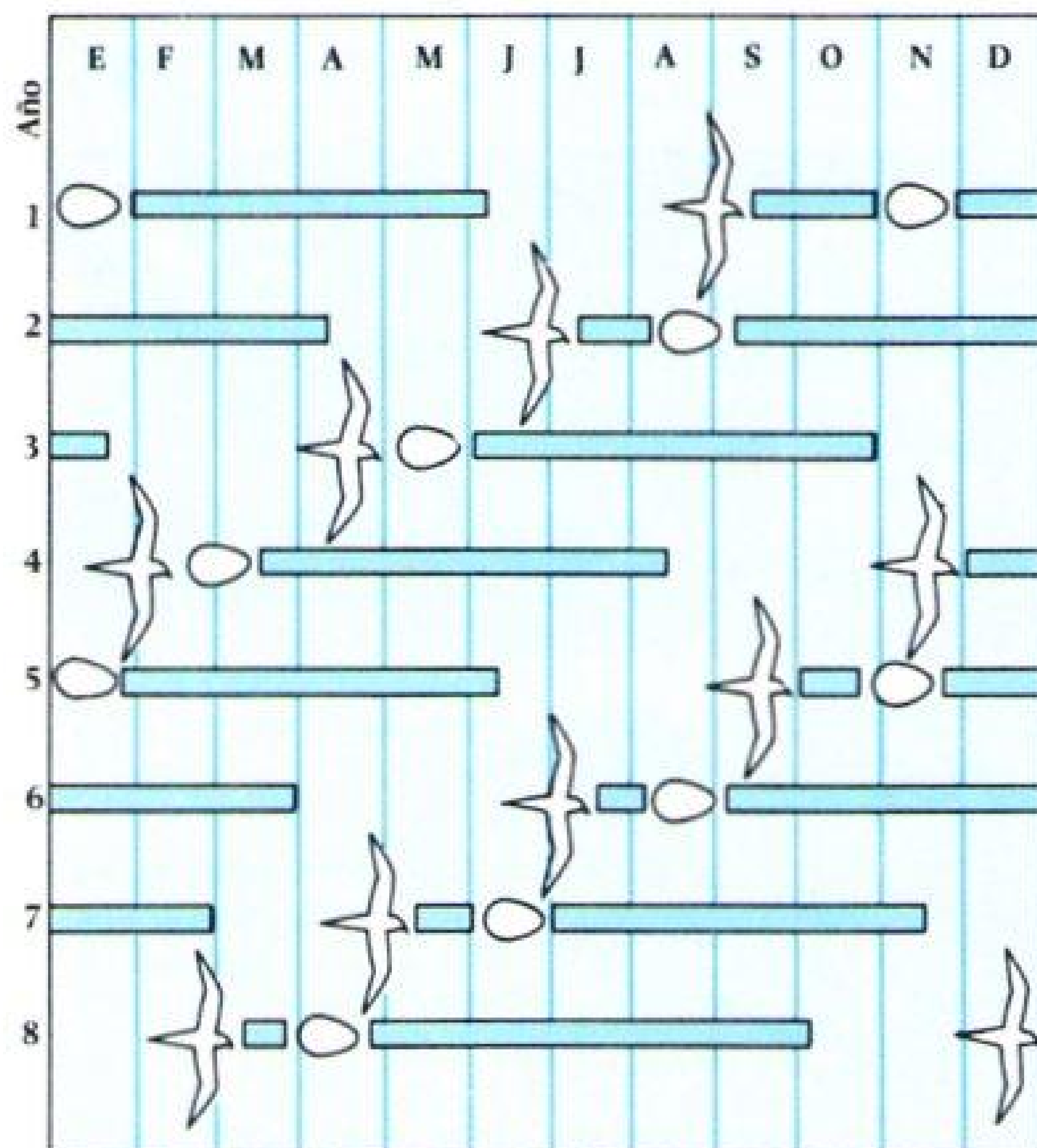


Los murciélagos se pasan el día dentro de oscuras cavernas, y por tanto no pueden servirse de las claves de duración del día para activar su ciclo de reproducción. A pesar de ello los murciélagos, tales como el *Miniopterus australis*, siempre se aparean en septiembre. Puede que el retraso o el adelanto del atardecer, inicio del período de actividad del murciélago, baste para iniciar el ciclo, pero el mecanismo sigue siendo un misterio.

realmente por el cráneo como un tercer ojo encima de la cabeza; de hecho la pigmentación de la glándula pineal es como la de un auténtico ojo, y puede asimismo percibir la luz. La extirpación de la glándula pineal de camaleones macho mantenidos bajo condiciones de luz natural provoca un aumento de los testículos. Así pues, normalmente la glándula pineal parece actuar como inhibidor, probablemente vertiendo en la sangre diversas sustancias que sirven para regular el desarrollo sexual. En el hombre y en otros mamíferos la glándula pineal parece no tener una función fotorreceptora, pues se halla profundamente enterrada en el cerebro, donde los rayos de luz no pueden alcanzarla; no obstante, parece ejercer alguna influencia sobre la función sexual. En otra serie de experimentos se extirpó la glándula pineal a algunas ratas hembra, y se las mantuvo en completa oscuridad. Se comprobó que esas ratas tenían ovarios mayores que las que no habían sido operadas y vivían en condiciones de luz natural. Tales experimentos sugieren que la luz, ya sea la percibida por los ojos o por la glándula pineal, actúa sobre la glándula pituitaria y sus regiones asociadas de la base del cerebro, estimulándolas para producir las diversas hormonas que rigen el ciclo sexual.

La interrelación entre la duración del día y la temperatura, que controla el ciclo sexual, se observa claramente en diversas especies. En lo que se refiere a las glándulas sexuales, la temporada de reproducción consiste en una fase de agrandamiento y otra de disminución. Como la mayoría de los mamíferos, la ardilla de bandas americana, *Citellus tridecemlineatus*, comienza a reproducirse en primavera. A mediados de verano testículos y ovarios empiezan a encogerse, y para el otoño han retrocedido completamente. Pero si se mantiene a las ardillas a una temperatura constante de 4 °C y en condiciones normales de luz, la regresión de las glándulas sexuales no comienza hasta finales de otoño. Este tipo de vínculo entre la sexualidad y la temperatura no se da en todos los mamíferos, como se ha demostrado en estudios sobre el hamster europeo *(Cricetus cricetus)*. Esta criatura hiberna normalmente en otoño, antes de lo cual sus testículos y ovarios han disminuido. Pero si se mantiene a los hamsters a 20 °C, de modo que no entren en hibernación, aun así sus testículos disminuyen como de costumbre. Como ocurría con la luz, no existen reglas de temperatura sencillas aplicables a la regulación de las temporadas de reproducción de los mamíferos.

Entre los peces, los cambios de temperatura cíclicos constituyen una clave importante del ciclo sexual. El medio en que se desenvuelven los peces goza de una temperatura relativamente constante, lo cual implica que cambios diminutos repercuten significativamente sobre las reservas de comida, y los peces, como los mamíferos, han de asegurarse de que sus crías salen del huevo cuando la comida es asequible. La formación de esperma en el macho del *Fundulus heteroclitus*, el proceso de la espermatogénesis, comienza al alcanzar el agua la temperatura de 10 °C, pero no se ve afectado en absoluto por la duración del día. El piscardo *(Phoxinus phoxinus)* entra en fase de reproducción al ascender la temperatura del agua, pero la madurez plena depende del estímulo adicional de los días largos. Resulta interesante observar que si se mantiene a los piscardos en condiciones artificiales de día corto, el agua templada inhibe más que estimula la producción de esperma.



La mayoría de las especies de golondrinas de mar son migratorias, y cubren distancias increíbles para ir de los lugares de invernación a los de veraneo. Algunas especies tropicales no emigran; una golondrina de mar propiamente sedentaria es el charrán sombrío, *Sterna fuscata*, de la isla Ascensión del Atlántico tropical. El charrán sombrío se reproduce dentro de un ciclo de 9 y medio meses. Dado que las diferencias estacionales de duración del día y de temperatura son tan leves, no está claro qué es lo que activa el ciclo de reproducción, aunque puede tratarse de la variación cíclica de la cantidad de peces. Otra explicación podría ser que el charrán posee un reloj endógeno, programado para iniciar el ciclo de reproducción cada 9 y medio meses, tiempo suficiente para emparejarse, nidificar, aparearse y mudar antes de que el ciclo se reinicie.



Las bandadas de charranes sombríos que viven en la isla Ascensión se alimentan exclusivamente de peces. Cada pareja de charranes pone sus huevos sobre un nido rudimentario en un territorio de reproducción atestado, donde abundan las peleas, graznidos e incluso la franca piratería. A pesar de ello, todos los años nacen los suficientes polluelos como para mantener la población.

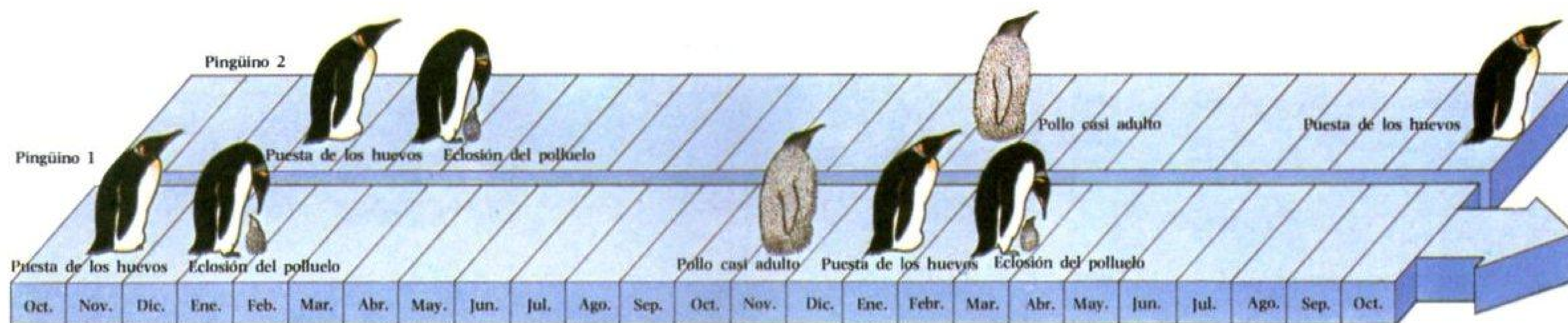
Multitud de especies animales viven bien en los trópicos, en donde el régimen de luz y temperatura experimenta pocas variaciones anuales, o bien en entornos duros, donde las reservas de comida para los recién nacidos son imprevisibles. Tales especies son reproductores estacionales, pero aun así dependen de ciertos desencadenantes ambientales para activar sus ciclos sexuales. Los animales tropicales dependen de la disponibilidad de comida, resultando que la presencia de ciertos compuestos en los alimentos frescos parece estimular el ciclo de actividad sexual. En zonas como el este de Africa, en que la lluvia es abundante todo el año, los grandes mamíferos paren en cualquier mes. Esto se ha demostrado claramente en el caso de la jirafa, que tiene un período de gestación de 15 meses. Sin embargo, en otras partes de Africa en que las lluvias son más estacionales, los nacimientos coinciden con la estación húmeda más que con la seca. Así resulta que en el parque nacional Kruger, de Sudáfrica, los partos de las jirafas presentan dos apogeos que se corresponden con los períodos de lluvias de principios y finales de verano.

Lo que les indica a los canguros el comienzo de la temporada de reproducción es la duración del día, apareándose al poco de haber adquirido plena fecundidad. Durante la ovulación la hembra puede liberar hasta 20 huevos que pueden resultar fecundados, pero tan sólo uno llega a implantarse en la pared uterina y comienza a desarrollarse. Los otros se mantienen en un estado de animación en suspenso, y puede que nunca se los requiera. Si se da una lluvia adecuada durante la breve gestación y a lo largo de la primera etapa de la vida marsupial de la cría, continuará el desarrollo hasta que el cangurito sea destetado. Los huevos en reserva desaparecerán tras destruirse. Sin embargo, si prevalecen las condiciones de sequía, y la madre no puede encontrar suficiente follaje verde, rico en elementos nutritivos, para mantenerse tanto ella como la cría, el embrión es expelido de la bolsa antes de que sea demasiado grande.

La clave que induce a la hembra del canguro a expulsar su carga embrionaria es el nivel de proteínas del forraje. Cuando éste disminuye mucho el sistema de abastecimiento de leche se altera, lo que ocasiona la muerte del pequeño. Nada más ocurrir esto los cuerpos lúteos del ovario, suprimidos hasta ahora, comienzan a segregar progesterona, y uno de los huevos fecundados en reserva se implanta en la pared uterina. Si el abastecimiento de comida no aumenta, este huevo correrá la misma suerte que el anterior. El que una clave ambiental influya sobre el desarrollo de un nuevo embrión constituye un medio excelente de asegurar la supervivencia de una especie en un entorno imprevisible, aunque la pérdida de numerosos huevos durante un año de sequía pueda parecer un derroche.

Las ranas y los sapos son otras criaturas cuya reproducción está ligada a la abundancia de agua. Estos animales necesitan pozas o charcas donde poner los huevos. Ante el sonido y el contacto de la lluvia buscan apresuradamente una pareja y desovan antes de que el agua se seque. En algunas zonas áridas, los renacuajos dependen de una permanencia de sólo unos pocos días en el agua.

El ciclo de reproducción de los animales consiste en algo más que en un simple ciclo sexual fisiológico. El éxito de la reproducción abarca muchos patrones de conducta, incluido el cortejo que precede al





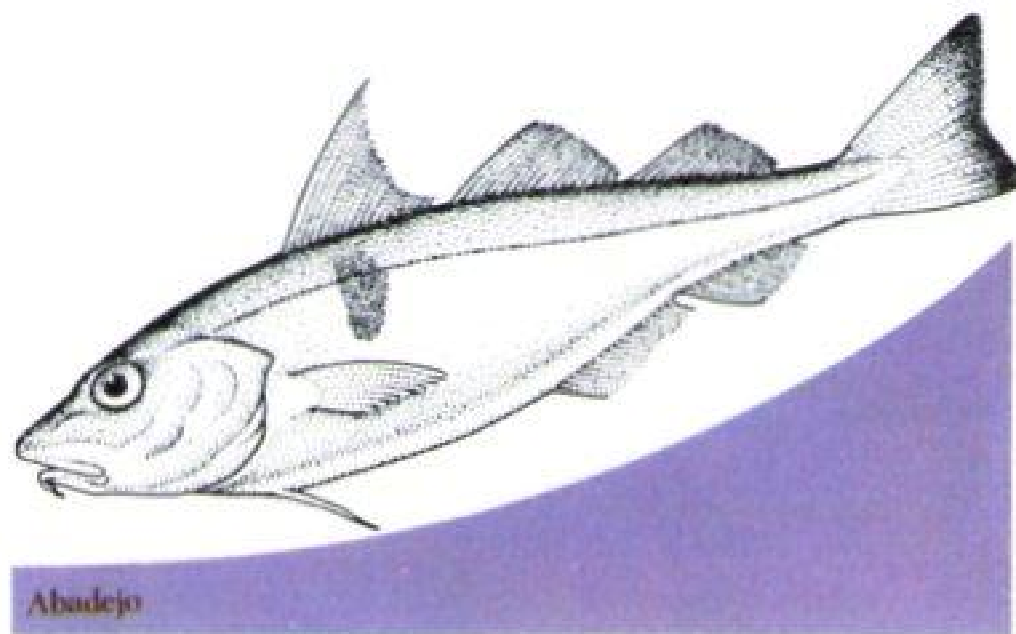
Los polluelos del pingüino rey, *Aptenodytes patagonica,* han de crecer durante el corto verano de la Antártida. La hembra pone un solo huevo cada tres años. En cada temporada hay dos períodos álgidos de puesta de los huevos: noviembre y enero. El pingüino (1) el primer año los pone en noviembre, y para la temporada siguiente este pollo es ya lo suficientemente independiente como para que los padres puedan poner otro huevo en el período de enero. Sin embargo, al tercer año este segundo polluelo todavía necesita la atención de sus padres y ese año no hay cría. El pingüino (2) pone su huevo en enero, el primer año. El pollo no ha crecido del todo para la siguiente época de reproducción, así que los padres no crían ese año pero sí pueden hacerlo al tercer año.

apareamiento, y al eventual nacimiento y cría del pequeño. Quizás uno de los patrones de conducta asociados con la reproducción mejor conocido sea el ciclo de trino anual de los pájaros. No existe probablemente ningún pájaro cuyo canto sea constante a lo largo del año. En el hemisferio norte, la mayoría de los pequeños pájaros de los jardines no cantan durante el período que va de mediados de verano a finales de invierno. Una excepción muy melodiosa la constituye el petirrojo europeo *(Erithacus rubecola)*. Al comenzar a alargarse los días en febrero y marzo, los testículos en aumento de los machos de todas las especies producen cantidades cada vez mayores de testosterona, la misma hormona producida por los testículos de los mamíferos, incluido el hombre. Se ha descubierto que la propensión al canto de los pájaros se relaciona con el nivel de testosterona en el caudal sanguíneo.

Según avanza la temporada de reproducción —abril, mayo y junio— y los testículos se van aproximando a su talla máxima, los cantos alcanzan su cenit. Los experimentos han revelado que la emisión de cantos puede controlarse regulando artificialmente la duración del día; los cantos de los pájaros se mantienen a su nivel máximo si la cantidad de luz permanece constante al nivel de finales de primavera o principios de verano. Este truco es de sobra conocido por los aficionados a los pájaros que pretenden engañar a las aves migratorias canoras atrayéndolas a la tierra. Se mantiene a un miembro de la misma especie encerrado en una jaula y cantando a nivel máximo gracias a una iluminación controlada, y se le usa a modo de señuelo para sus congéneres que pasan volando.

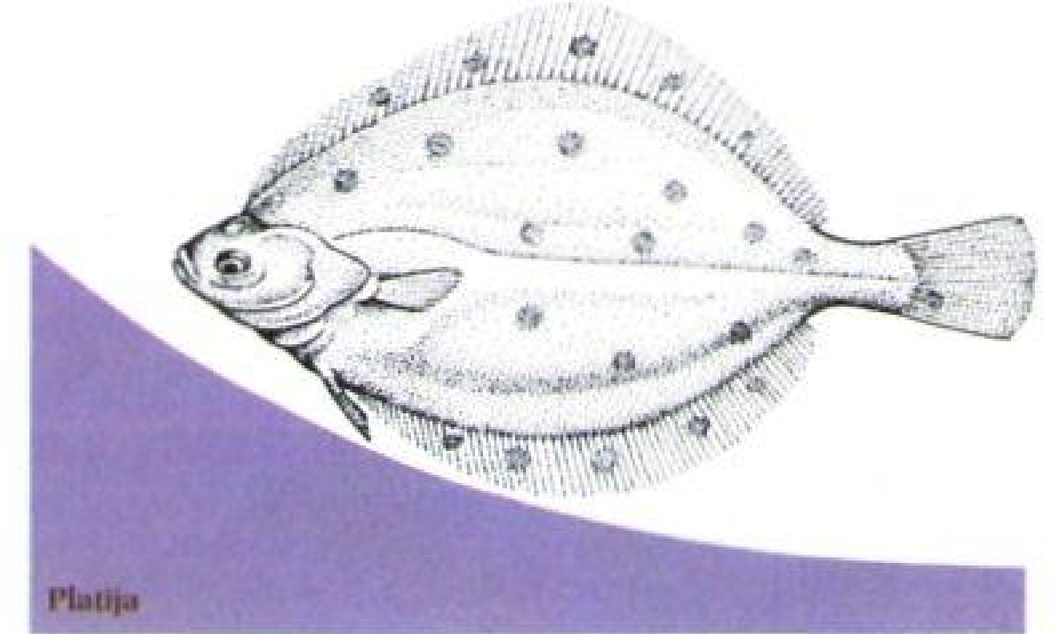
Superpuesto al ritmo anual del canto de los pájaros existe un ritmo diario de 24 horas. La mayoría de las especies cantan menos hacia el mediodía que por la mañana temprano o a última hora de la tarde. En los lugares calientes y secos la calma del mediodía parece estar inextricablemente asociada al calor y al viento, pero eso no lo explica todo porque en las zonas templadas del norte ocurre lo mismo. Sin duda en las regiones áridas cualquier incremento en la humedad se ve generalmente acompañado por un estallido de cantos. Muchos pájaros macho rompen a cantar poco después del amanecer, y continúan haciéndolo una o dos horas. En las mañanas húmedas o ventosas este coro del alba puede durar menos, o ni siquiera escucharse, pero en las mañanas soleadas puede ser extraordinario. Parece requerirse tan sólo un cantor lo suficientemente entusiasta —un mirlo por lo general— para que el coro entero se ponga a cantar a voz en cuello. Algunas aves canoras cantan sólo en el coro del alba, pero la mayoría lo hacen también más tarde, aunque las melodías del crepúsculo no son nunca tan altas ni tan largas como las del amanecer. Casi todos los ornitólogos afirman que los estallidos de canto que puntúan el período de canto diario de cualquier pájaro están controlados por determinado factor innato que se ve a su vez muy influido por el nivel de producción de testosterona.

Sin duda, el que tantísimos animales realicen la misma actividad al mismo tiempo es algo espectacular, y donde esta actividad de masas se orquesta de manera más asombrosa es en las exhibiciones o asambleas de multitud de aves de caza. Calculando sus actividades para después de la aurora, los grupos de urogallos macho y otras especies relacionadas, como el gallo de las praderas y el gallo lira, adoptan posturas grotescas

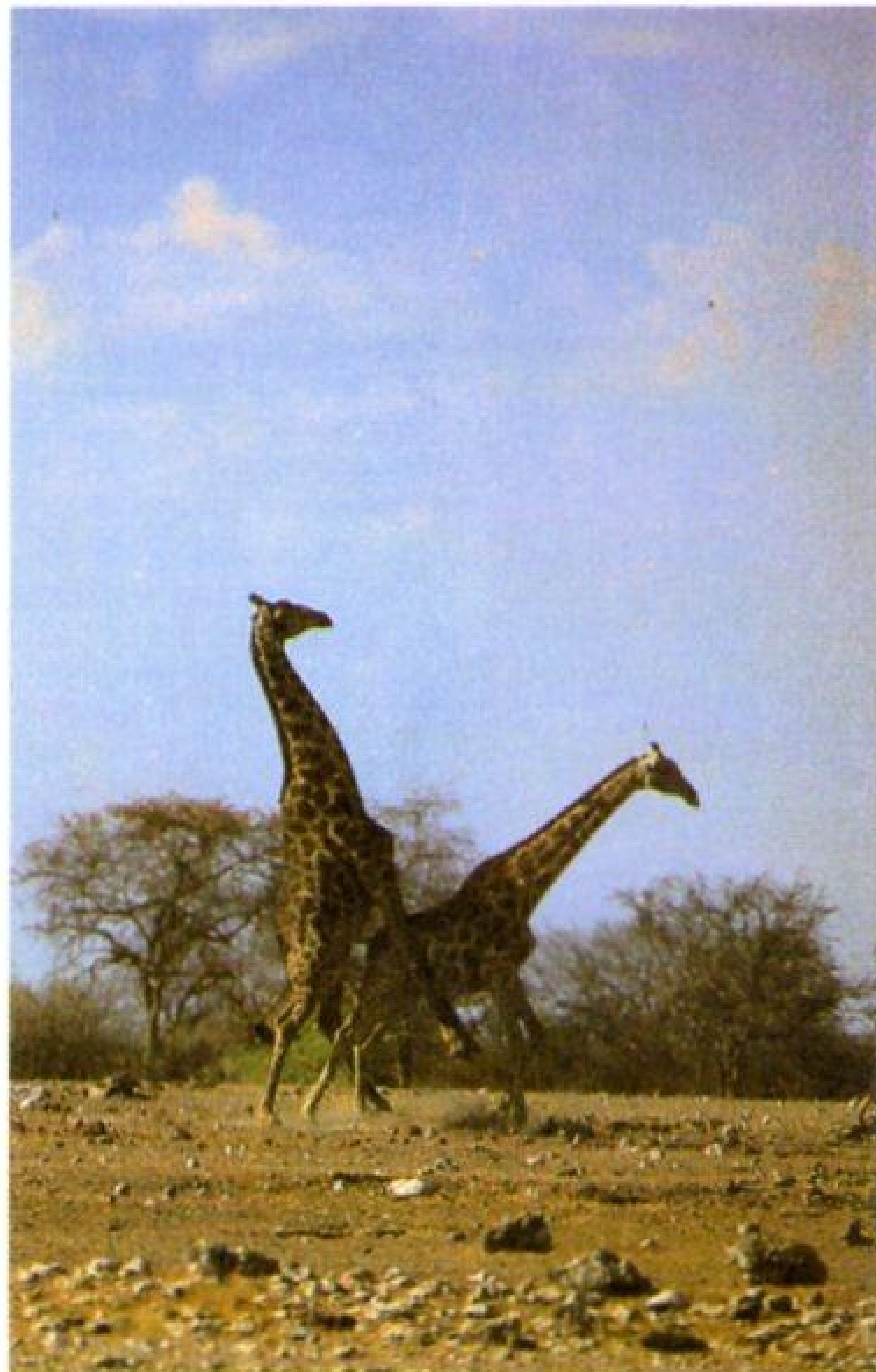


Abadejo

El comienzo de la reproducción de los peces parece estar ligado a las variaciones de la temperatura del agua, aunque el nivel de iluminación puede que también influya. Para la mayoría de los peces existe una reducida gama de temperaturas que permiten la reproducción. La reproducción de las jirafas, como la del hombre, no se limita a una estación. Las crías nacen en cualquier mes del año, con un ligero incremento que coincide con el comienzo de las lluvias. Los sapos espolados americanos, *Scaphiopus bombifrons*, habitan en el medio imprevisible de las charcas, que a menudo se secan. Durante los períodos de sequía los sapos se entierran en el fango hasta que llueve. La lluvia no sólo los libera, sino que desencadena el desarrollo de las gónadas y la producción de los huevos, de los que emergen los renacuajos.



Platija





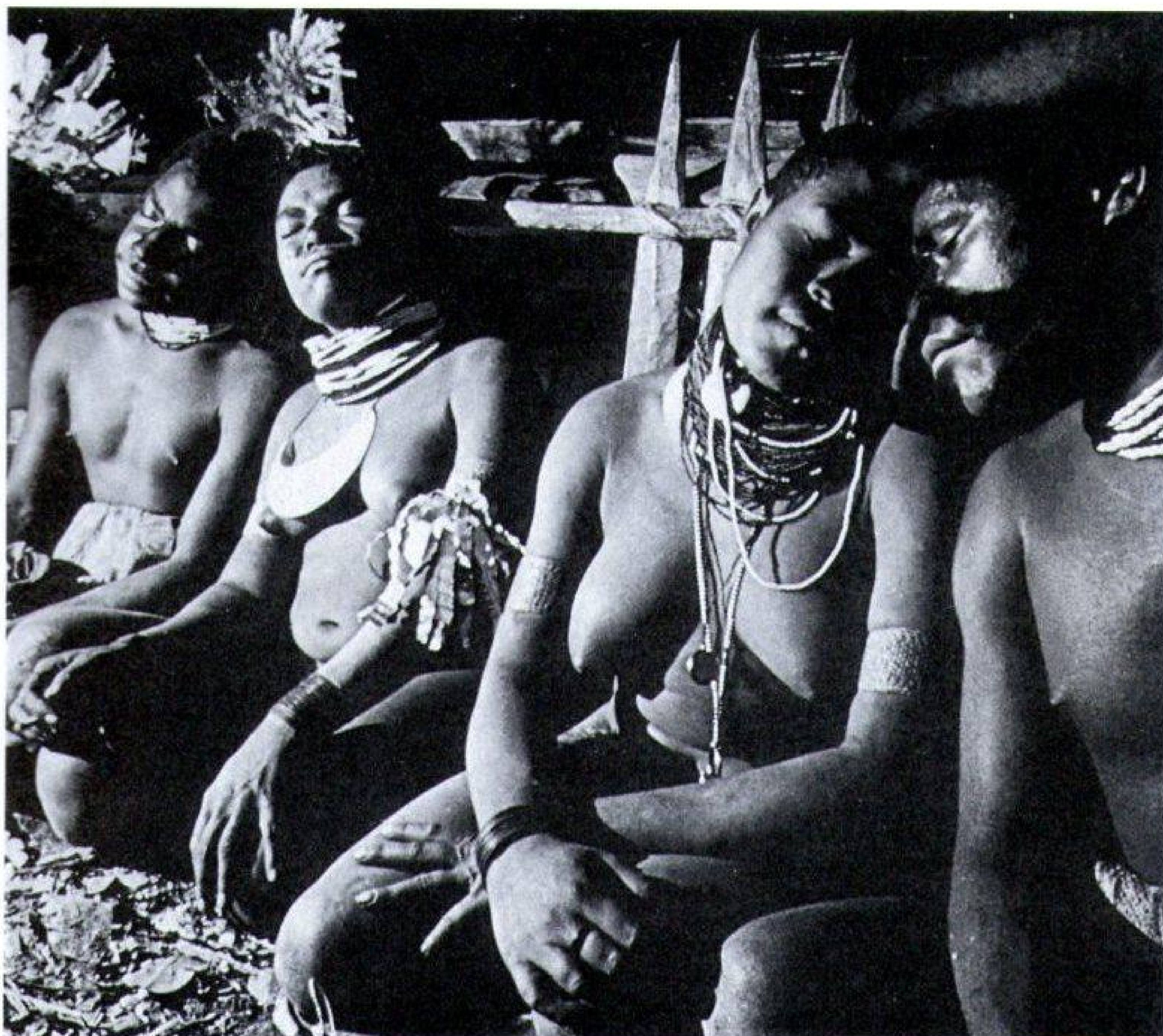
y se pavonean, pretendiendo intimidarse psicológicamente unos a otros. Tras muchos meses de alardes, el macho que domine en este pavoneo se aparea con el mayor número de hembras, de modo que su capacidad de exhibición es heredada por la generación siguiente. La regularidad de las competiciones es muy notable, produciéndose cada vez más temprano según aumenta el día. Competiciones de carácter algo diferente pueden observarse en algunas especies de murciélagos, por ejemplo, en los murciélagos cabeza de martillo de la cuenca del Zaire (*Hypsignathus monstrosus*) que se reúnen en grandes asambleas por la tarde, justo antes del crepúsculo para cantarse alto unos a otros.

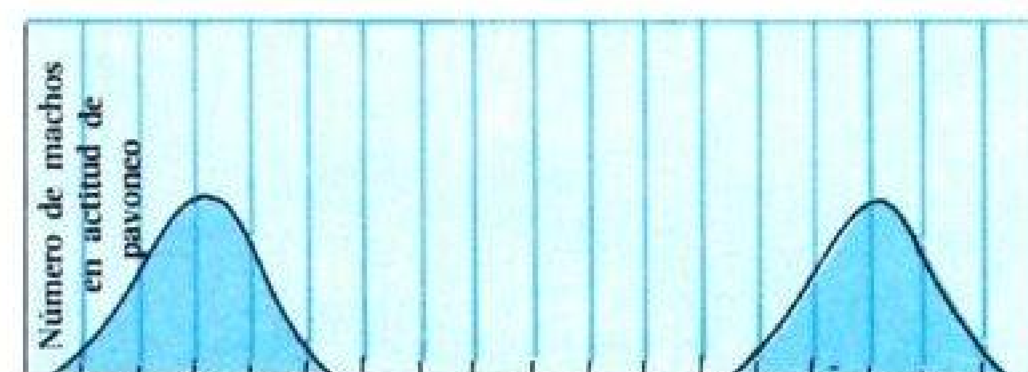
Los pájaros urbanos, como el estornino pinto (*Sturnus vulgaris*), llevan a cabo maniobras aéreas de lo más complicadas a la puesta de sol. Reuniéndose en bandadas inmensas de hasta varios miles de individuos, ascienden por el aire en masa como si de uno se tratara, y giran y revolotean como si danzaran siguiendo la coreografía de un calculado ballet. La exhibición aérea termina tan repentinamente como empieza, dispersándose la bandada. No se ha llegado a aclarar del todo la función de tales congregaciones, aunque parece ser que está muy relacionada con el período prenupcial y la estimación del tamaño de la población. No se sabe cómo cada individuo en particular responde a la estimulación, aunque ciertos años sólo parte de la población adulta participa en la reproducción. Puede ser que la tensión de la exhibición o la actividad que ésta supone incidan más duramente sobre los individuos débiles de la bandada que sobre los fuertes, disminuyendo su capacidad de tomar o defender a una compañera. Sin embargo, lo realmente impresionante es el cronometraje de esos fenómenos de masas. Puesto que cumplen el importante papel de impedir que la población aumente demasiado, han de producirse a horas bien definidas. Las horas en que las condiciones de luminosidad cambian más deprisa —la aurora y el crepúsculo— son hitos circadianos bien definidos.

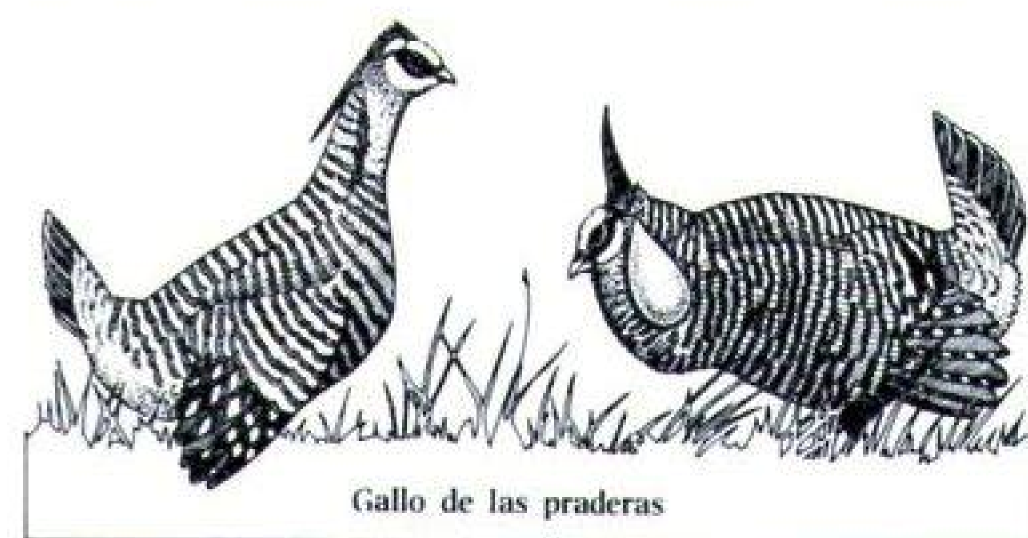
Los movimientos rítmicos del cortejo parecen a menudo los de la coreografía profesional de un ballet. Por ejemplo, tanto el macho como la hembra del somormujo lavanco (*Podiceps cristatus*) llevan a cabo una secuencia de movimientos de cortejo sin la cual el apareamiento no se produce. Al acercarse a la hembra, el macho anuncia su presencia elevando las crestas de plumas de la cabeza, a modo de penachos, y extendiendo los lóbulos emplumados de las orejas. Según se acerca adopta la postura del «gato», encorvando el cuello y, a la vez, desplegando ambas alas para exponer sus marcas blancas. Entonces los dos pájaros mueven la cabeza frente a frente, apuntando con los picos arriba y abajo rítmicamente.

Pocos cortejos hay tan rítmicos como el de las luciérnagas. En multitud de tales escarabajos nocturnos, miembros de la familia *Lampyridae*, sólo el macho tiene alas. La hembra, no alada, que parece una oruga y permanece en el suelo, es conocida generalmente como gusano de luz. Los órganos fotógenos, especializados en producir luz, localizados bajo la superficie del abdomen en ambos sexos, se usan para atraerse. La luz de cada macho, que puede llegar a equivaler a una catorceava parte de la de una vela, lanza destellos rítmicos, que duran unos 0,2 segundos, con una frecuencia aproximada de 5 segundos. Los destellos, que no se producen como los de un faro gracias a un

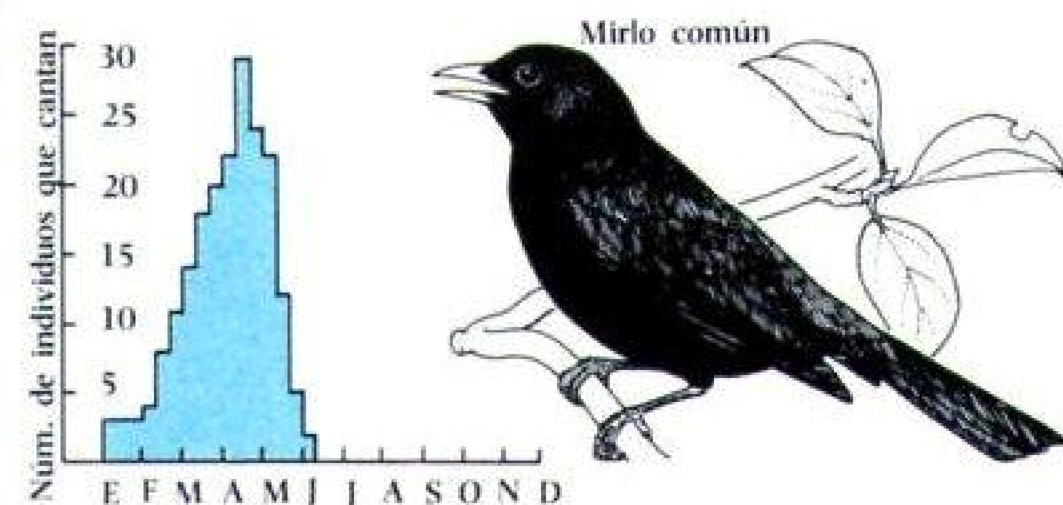
En las tierras altas de Nueva Guinea, los jóvenes solteros de la tribu participan en una especie de «cortejo» comunitario. Las parejas normalmente frotan sus cabezas, uno contra otro, y se cantan antes de realizar el coito. Las relaciones forjadas en este apareamiento ritual no conducen de hecho al matrimonio. Por el contrario, los matrimonios «adecuados» los acuerdan las familias de los jóvenes. Los rituales y las reglas del cortejo humano son en todas partes diferentes, y en Occidente están sufriendo un cambio rápido, vinculado a una mayor permisividad y a la evolución del papel de la mujer en la sociedad. En el mundo animal las cosas son más rígidas porque el cortejo está en gran medida regido por el nivel de hormonas sexuales en la sangre. Muy relacionada con el cortejo aparece una conducta agresiva en los machos, que compiten por una hembra. Paradójicamente, una conducta belicosa intimida a los otros machos pero puede asimismo atraer a una hembra.







Antes de aparearse, los machos de muchas aves de caza, como el gallo de las praderas, *Tympanuchus cupidio*, se pasan semanas o hasta meses pavoneándose ante los otros. Ello tiene lugar en un tradicional lugar de exhibición. En los pocos días aptos para la cópula los campeones se aparearán con el mayor número posible de hembras.



Como la mayoría de los pájaros canoros, el mirlo común europeo, *Turdus merula*, no canta con la misma intensidad todo el año. Desde el lento inicio, en enero o febrero, los que cantan temprano aumentan espectacularmente, hasta alcanzar un apogeo en mayo. Este apogeo se corresponde con la época de nidificación. Para julio el número de pájaros que cantan ha disminuido, y de agosto a enero no se oye canto alguno.

obturador que obstaculiza temporalmente el haz de luz, sino que son producto de una reacción química controlada, continúan mientras los animales revolotean sobre la vegetación. Cuando una hembra lanza en respuesta su luz desde la tierra, el macho desciende y copula con ella, pero puede haberse pasado horas destellando antes de encontrar una pareja; y dado que los machos prefieren buscar en enjambre, el centelleo constituye un espectáculo delicioso.

Aunque el cortejo humano puede parecer a primera vista desprovisto de todo componente rítmico o cíclico, los pueblos tribales mantienen todavía un antiguo sistema de reuniones regulares. Las famosas danzas del Sol de los indios de Norteamérica, y su contrapartida entre los aborígenes australianos, aunque hace tiempo que desaparecieron, constituyeron en su momento reuniones de un inmenso significado social, una de cuyas funciones era fomentar el cortejo entre los miembros de diferentes grupos. Puede que también contribuyeran a confeccionar un censo de población; sin duda así ocurrió en el suroeste de Asia en la época de las grandes caravanas nómadas. De modo similar a como las asambleas y las concentraciones masivas se producen a la hora del día en que son más fácilmente detectables, las primitivas reuniones sociales de los hombres tenían lugar normalmente hacia el solsticio de verano, cuando el sol se hallaba en su punto más alto en el cielo. Todos los años las tribus se reunían de manera regular, lo que les proporcionaba una estructura formalizada en lo referente a las pruebas de fuerza y resistencia, y asimismo les permitía fomentar el coqueteo propio del cortejo.

Tales reuniones sociales, ligadas al calendario de las estaciones, constituyen una especie de migración social. En el reino animal la migración es un fenómeno muy extendido, aunque las razones que inducen a tamañas operaciones a veces no están claras. La definición exacta de una migración incluye dos elementos: un viaje de ida y uno de vuelta. Las explosiones irregulares de las poblaciones de pájaros árticos y subárticos son movimientos masivos en una sola dirección totalmente imprevisibles. Las fechas de regreso y partida de las verdaderas especies migratorias pueden ser previstas como acontecimientos regulares y rítmicos.

Dos de las razones por las que los pájaros adoptan un esquema de migración anual son la reproducción y la alimentación, si bien ambas cosas vienen a ser la misma en ocasiones. Razones subsidiarias para la migración pueden ser el viajar a un clima menos hostil donde parir; así pues, determinada especie puede emprender una migración para asegurarse de que sus crías nazcan en una zona en que la cantidad o la cualidad de la comida sean óptimas, o el entorno menos agresivo. De hecho pocas especies emigran sólo para reproducirse o alimentarse.

Las migraciones de larga distancia son por definición un fenómeno limitado a las especies con alto grado de movilidad; los ejemplos más espectaculares se dan entre los pájaros, peces, mamíferos y reptiles marinos, y entre los grandes mamíferos terrestres de marcha ligera. Los pequeños mamíferos terrestres, los reptiles y los anfibios no tienen la posibilidad de trasladarse lejos; no obstante, muestran un patrón de movimiento migratorio. Así el sapo común *(Bufo bufo)* abandona su refugio entre la maleza cada primavera para buscar una charca en la que desovar, probablemente la misma en la que nació. Tras unos pocos





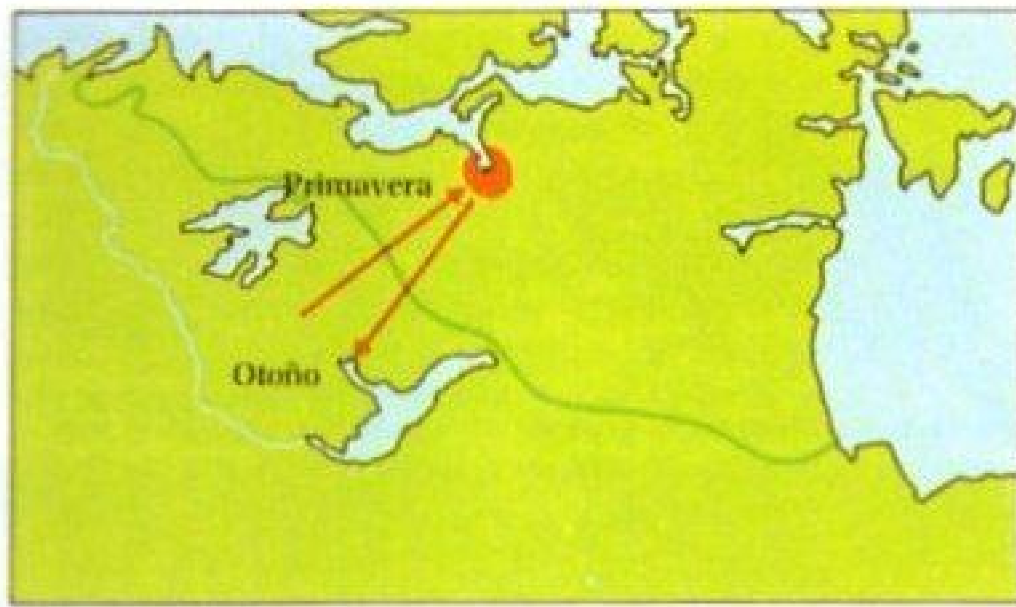
La reproducción del elefante marino austral, *Mirounga leonina,* tiene lugar en tierra firme. Los primeros en llegar a tierra son los machos viejos, que se pelean para dividir la playa en territorios. Cuando llegan las hembras, más pequeñas, son reunidas en harenes por los machos, y a menudo raptadas por machos rivales. A los pocos días las hembras preñadas dan a luz y se pasan el tiempo dando de mamar al pequeño una leche nutritiva y grasa. Entre tanto, los machos se ocupan de inseminar a las no preñadas entre peleas constantes con los vecinos demasiado solícitos. A los 10 días del parto más o menos las hembras están de nuevo en estro y también ellas se aparean con el señor del harén. Poco después vuelven al mar. El huevo fecundado permanece inactivo durante 3 o 4 meses antes de que se inicie su desarrollo. Las nuevas crías nacerán 11 meses después, tiempo que los adultos habrán pasado en el mar

días dedicado a buscar pareja y a desovar, regresa a su anterior morada. A su modo, este patrón de movimiento en el que el animal recorre sólo unos cientos de metros, año tras año, es tan espectacular como la migración genética de 27.000 km. de la golondrina de mar ártica, o la de 6.000 km. del caribú. Incluso los conejos, criaturas de lo más sedentario, muestran un estallido anual de actividad a comienzos de la temporada de reproducción, y construyen grupos de nuevas habitaciones subterráneas, en las que las hembras preñadas se encierran para esperar el nacimiento de la camada. Si se las compara con los increíbles desplazamientos que algunas especies acometen para reproducirse, tales actividades difieren sólo en escala; el propósito es el mismo.

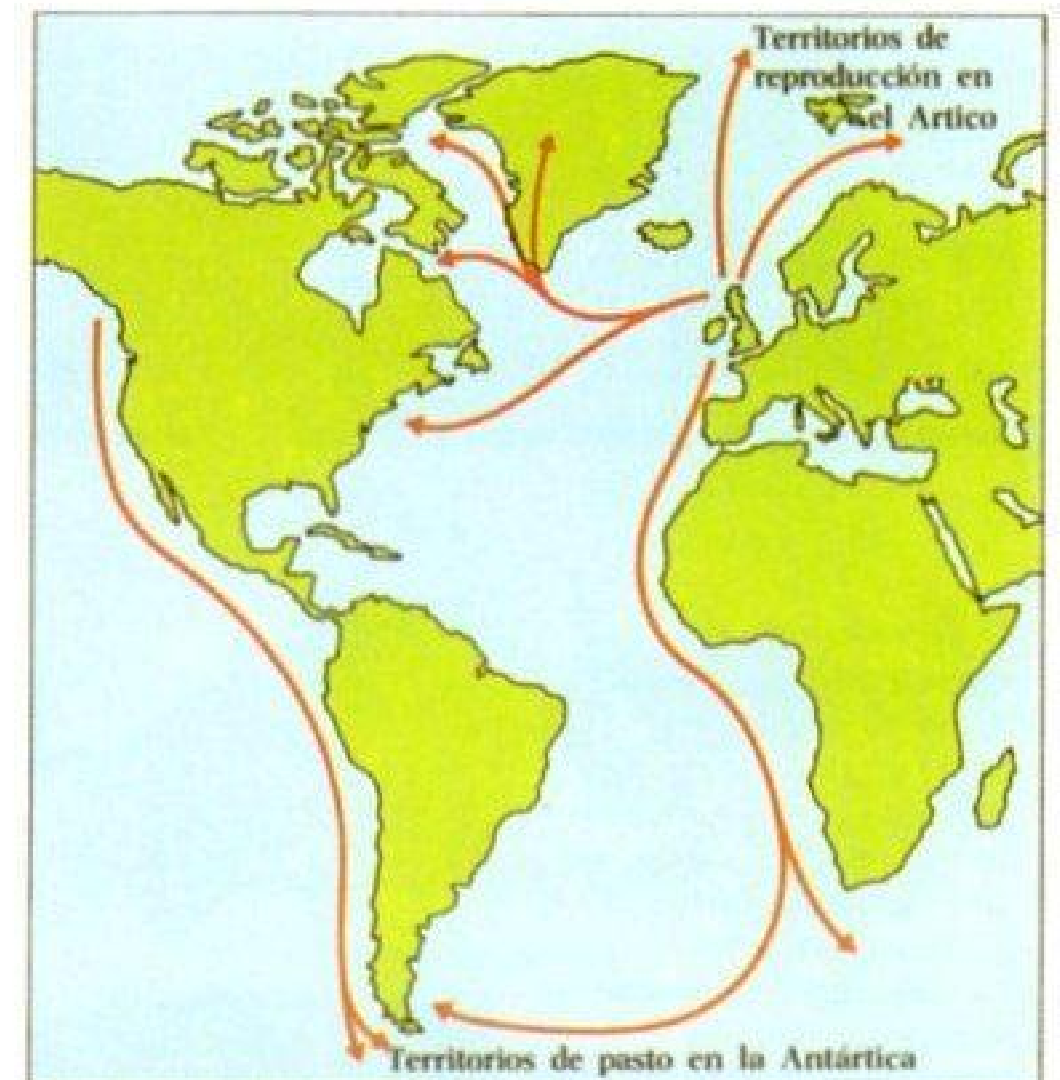
Un pequeño número de especies presenta un patrón anual de migración asociado sólo a la alimentación. Ello puede deberse al sistema de lluvias estacionales, como ocurre en Tanzania con la migración anual de este a oeste de los rebaños de ñus, impalas y cebras. Asociados a esos movimientos aparecen grupos migratorios de perros salvajes, chacales y hienas, que atacan a los recién nacidos y a los débiles. En estas zonas tropicales la reproducción se da a lo largo de todo el año, mostrándose los animales indiferentes a cualquier época o lugar concretos. Hubo un tiempo en que enormes manadas de bisontes *(Bison bison)* vagaban por las llanuras de Norteamérica desde el norte de Alberta hasta Nuevo México, y desde Oregón a Pensilvania. En primavera se dirigían hacia el norte, y los nacimientos se producían al poco de haber comenzado a brotar la nutritiva hierba nueva. En otoño los rebaños emigraban otra vez al sur, para evitar la dureza del invierno del norte y la escasez de comida. Aunque la migración respondía primordialmente a propósitos alimenticios, la reproducción se localizaba de forma regular al principio de la misma.

Los indios de las llanuras, que dependían para subsistir de las manadas de bisontes, emigraban regularmente de norte a sur y viceversa, en pos de sus presas. Así pues, los arapahoes del centro de Colorado recorrían anualmente unos tres mil kilómetros, atravesando Wyoming y Montana para llegar a Alberta, a la zaga de los bisontes. Los seres humanos, como ya hemos visto, no tienen temporada de reproducción, registrándose nacimientos todos los meses del año.

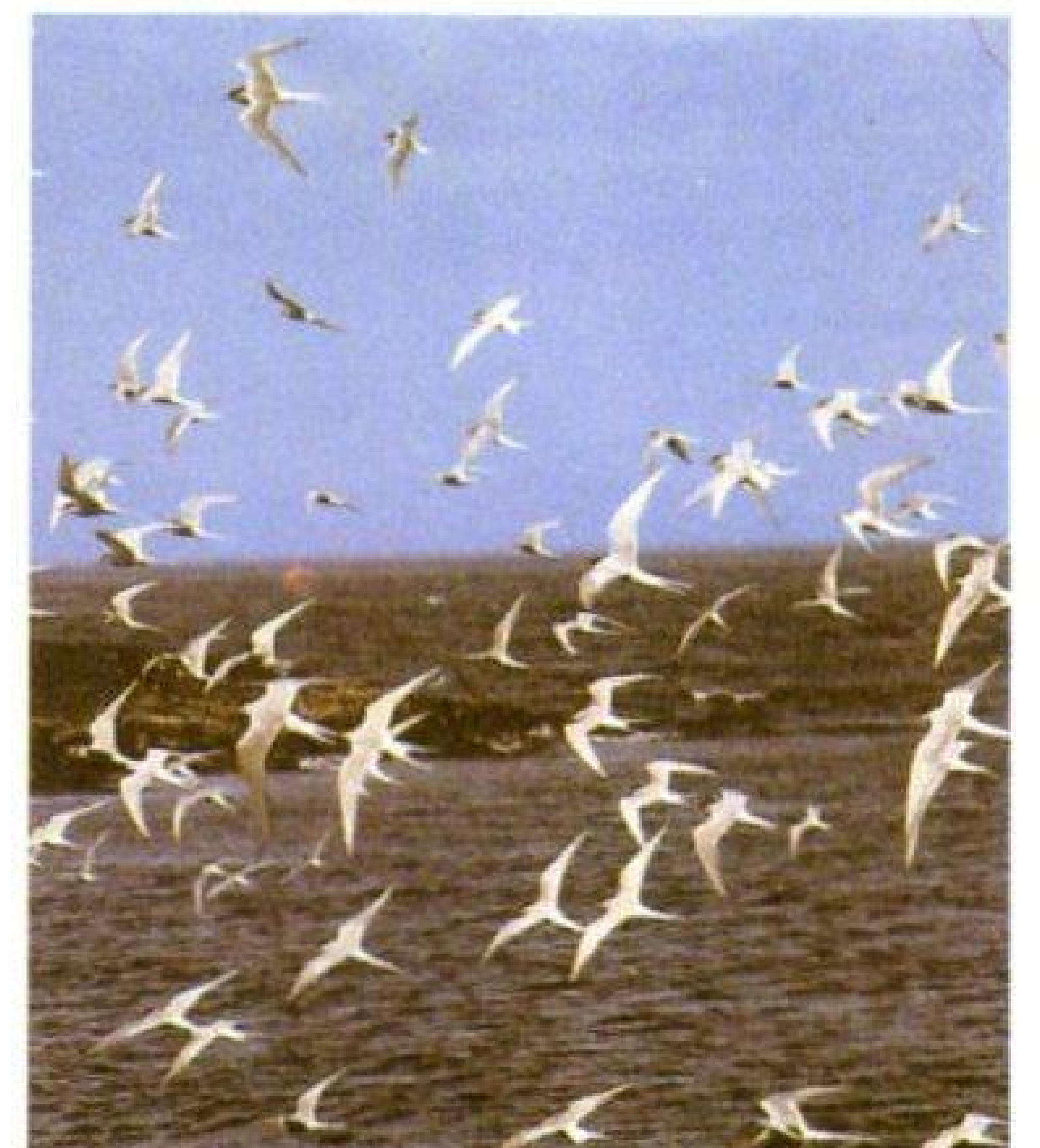
Las migraciones genéticas más asombrosas las exhiben los pájaros que se reproducen en las zonas nórdicas durante el verano, y pasan el invierno en el hemisferio sur. Así el charrán ártico *(Sterna paradisea)*, un ave marina que se reproduce en verano nada menos que en las islas Baffin y en el noroeste de Groenlandia, vuela a continuación hasta la Antártida. Gracias a tan gigantesco viaje migratorio, de un polo a otro, este pájaro goza toda su vida de unas condiciones climáticas más o menos estables. En agosto, cuando ya sus polluelos están bien provistos de plumas y son capaces de defenderse por sí mismos, los charranes vuelan hacia el sur, bordeando la costa norte de Labrador y luego hacia el sudeste cruzando el Atlántico. Al alcanzar la costa oeste de la Península Ibérica, los charranes migratorios pueden sumarse a otros parientes que han criado en el norte de Escocia y en Escandinavia. En el sur, ya en las Azores, las bandadas tienden a dividirse, siguiendo unos la costa oeste de Africa y otros la costa este de Sudamérica, hasta avistar el Antártico. La ruta de vuelta es la misma. Ya sea durante la ida o durante la vuelta los pájaros comen poco, aunque sí se producen breves



Migración significa que un animal puede disfrutar de lo mejor de dos mundos: condiciones de temperatura constantes a lo largo del año y abundancia de comida. El caribú, *Rangifer tarandus*, *abajo*, pasa el invierno en los bosques de Alberta, Saskatchewan y Manitoba, en Canadá, *izquierda*, y en primavera inicia su marcha hacia el norte, hasta las estepas. Los ciervos recorren casi 6.400 km., alentados por la perspectiva de los verdes líquenes y de la hierba primaveral del verano ártico. Las crías nacen durante el trayecto, y desde el primer día son iniciadas en una vida de migración regular. El apareamiento tiene lugar en los pastos de verano, antes de que se inicie la larga marcha hacia el sur.







períodos de descanso. Un plan de migración similar lo encontramos en la golondrina común *(Hirundo rustica)*, que se reproduce en el norte de Europa y llega a invernar hasta en Sudáfrica.

¿Por qué estos pájaros acometen unos viajes tan increíbles, acechados por peligros de todo tipo? No hay respuesta fácil para esta pregunta, pero la disponibilidad de alimento y el enclave de la procreación juegan un papel vital para mantener la conducta migratoria. Dado que la mayor parte de la masa terrestre se concentra en el hemisferio norte, la cantidad de litoral poco profundo donde el charrán ártico encuentra la moralla de que se alimenta, y lo mismo el número de insectos voladores de que depende la golondrina, es mucho mayor en la mitad norte del globo que en la mitad sur. El costo que en términos de energía y vida supone una migración gigantesca se compensa con la riqueza alimenticia que se encuentra al final en el verano septentrional.

Para algunas especies terrestres, el señuelo de un banquete tal constituye a veces una espada de doble filo. El caribú de América del Norte *(Rangifer tarandus)*, idéntico al reno europeo, se pasa el invierno en los bosques canadienses de Alberta, Saskatchewan y Manitoba. Los caribús se aparean a finales de verano, precisamente cuando se disponen a abandonar los páramos de las estepas del norte, ricos en líquenes; pero las primeras contracciones del parto no las sienten las hembras hasta unos ocho meses más tarde, cuando se dirigen de nuevo al norte en busca de nutritivos líquenes. Pero si se da a principios de primavera un tiempo excepcionalmente inclemente, el avance de los caribús puede ser mucho más lento de lo normal, y puede que las crías nazcan en condiciones de lo más inhóspitas. El peligro que acecha a los pequeños no es sólo la muerte debida al frío extremado y a la ventisca, sino también que sus madres pueden ser incapaces de producir leche suficiente para alimentarlos durante sus primeros días temblorosos, y, en vez de las hienas que persiguen a los ñus en Africa, habrá lobos esperando ávidamente un bocado fácil. No obstante, suficientes caribús logran sobrevivir.

En el mar se produce un cierto número de excepcionales migraciones genéticas en las que participan peces, reptiles y mamíferos. Los mayores mamíferos, las ballenas, viven sobre todo en los océanos del sur, en donde la plataforma continental de la Antártida ocasiona una gigantesca propulsión vertical de los elementos nutritivos de las capas frías más profundas, que se mezclan con las aguas relativamente tibias de la superficie. Las plantas y animales microscópicos, que en su conjunto constituyen el plancton, bullen aquí como en ningún otro punto de la Tierra, y las ballenas discurren plácidas entre ellos.

Aunque las ballenas adultas encuentran las aguas de la superficie de los océanos australes lo suficientemente cálidas gracias a su capa aislante, no les ocurre lo mismo a los ballenatos recién nacidos, lo que explica por qué muchas ballenas emprenden migraciones genéticas hacia el Ecuador, alejándose de sus pastos habituales. Así, las yubartas *(Megaptera novae-angliae)* viajan hacia el Norte, a las regiones costeras de Sudamérica y de Africa del Sur y una vez allí, en aguas templadas y poco profundas, dan a luz a sus crías. Pero mientras que la variedad de organismos del plancton puede ser grande en estas regiones, falta lo que se dice verdadera abundancia. Así pues, en cuanto los ballenatos son lo suficientemente grandes para viajar, las ballenas emprenden de nuevo



El hombre es a menudo una especie migratoria, y sus migraciones suelen estar ligadas a los movimientos de los rebaños de grandes ungulados. En el norte de Europa los lapones, *derecha*, llevan incontables generaciones siguiendo la migración de los grandes rebaños de caribús (conocidos en Europa como renos) que van en pos de la rica vegetación del verano ártico. La reproducción humana no está ligada a ninguna fase de la migración; la asociación surgió para que las reservas de comida pudieran emplearse más eficazmente.

Entre las migraciones regulares más asombrosas de los animales se cuenta el peregrinaje anual de 27.000 km. realizado por el charrán ártico, *Sterna paradisea, izquierda*, desde sus territorios de reproducción en el Artico, hasta las regiones de la Antártica donde se alimenta en invierno. Los pájaros se sirven de los vientos del Atlántico durante su vuelo sobre mar abierta y bordeando la costa. Raras veces paran, pero los augurios de mal tiempo pueden obligar a las aves a refugiarse algunos días. El tremendo esfuerzo del desplazamiento se ve compensado por la abundancia de morralla.

el camino hacia el sur, en busca de ricos pastos de plancton. Durante la migración las ballenas comen poco, y dependen de sus reservas de grasa almacenadas para proveerse de energía motriz y de los elementos nutritivos con que elaborar leche para sus crías. Las yubartas viven tanto en el Atlántico norte como en el sur: las del norte emigran hacia las aguas tibias del Caribe poco antes de dar a luz. Puesto que cada una de las dos poblaciones se dirige al Ecuador durante el invierno de su hábitat, las dos comunidades no se encuentran en las bases de reproducción.

El salmón y algunos otros peces similares ponen sus huevos en agua dulce, eligiendo las corrientes rápidas de fondo arenoso o de gravilla, que se hallan cauce arriba junto al nacimiento de los principales ríos de Europa y América del Norte. Tras salir del huevo, los alevines pasan alrededor de dos años en este entorno relativamente seguro, antes de embarcarse en su aventura cauce abajo. Mostrando una notable adaptabilidad fisiológica ante los problemas que supone el paso del agua dulce al agua salada, los jóvenes esguines se dirigen al Atlántico o al Pacífico. Una vez allí, al borde de la plataforma continental, se atiborran de nutritivo plancton, cuyo color rosado se transmite a la carne del pez. Permanecen en el mar uno o dos años, y luego los salmones jóvenes inician el largo recorrido de vuelta a sus arroyos natales.

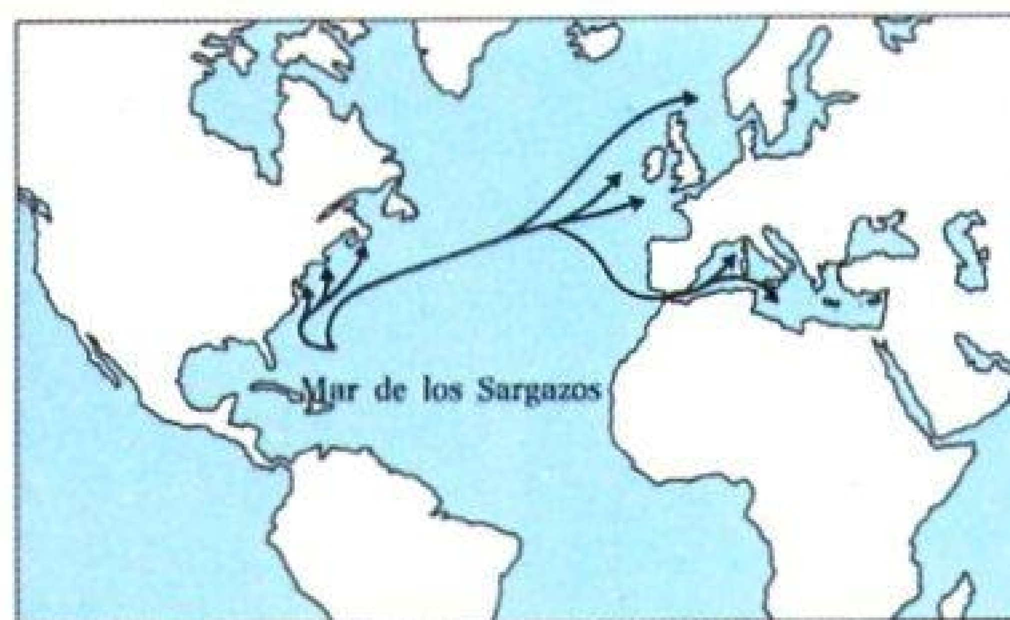
Todavía no se ha descubierto cómo los salmones jóvenes se orientan en su trayecto de 2.400 km. desde mar abierto hasta la costa de la que partieron dos años antes, pero el caso es que, ya próximos a la desembocadura del río, son capaces de recordar el olor de su arroyo natal, y superando enormes cascadas y franqueando tumultuosos rápidos se abren paso siendo ya adultos. Llegan a los ríos en agosto y septiembre, cuando las gónadas de algunos de los peces que partieron pronto no están aún del todo desarrolladas, pero para octubre/noviembre tanto los machos como las hembras han madurado completamente.

Al alcanzar el lugar del desove se produce un breve cortejo, y según la hembra va expulsando los huevos el macho vierte su esperma sobre ellos. En el río pueden aparecer enormes manchas blancas debido a los millones de espermatozoides en suspensión. Para los salmones del Pacífico —el salmón rojo, el salmón plateado, el salmón keta y el salmón jorobado, todos ellos especies de *Oncorhynchus*—, el desove señala el fin de su vida. Los peces exhaustos yacen indiferentes en las aguas poco profundas, proporcionando abundante comida a zorros, lobos y osos pardos y al águila de cabeza blanca. Pero al extenuado salmón del Atlántico *(Salmo salar)* le queda todavía otra oportunidad. Los salmones zancados, escuálidos y con un aspecto destartalado, se dejan arrastrar río abajo, y por más que muchos perecen por el camino debido al agotamiento —pues los salmones adultos no se alimentan desde el momento en que entran en el agua dulce—, unos pocos consiguen regresar a los pastos oceánicos. Una vez allí, revitalizados gracias a una rica dieta de plancton, pronto recuperan las fuerzas y se preparan para la siguiente migración genética. El momento del desplazamiento es prácticamente el mismo todos los años.

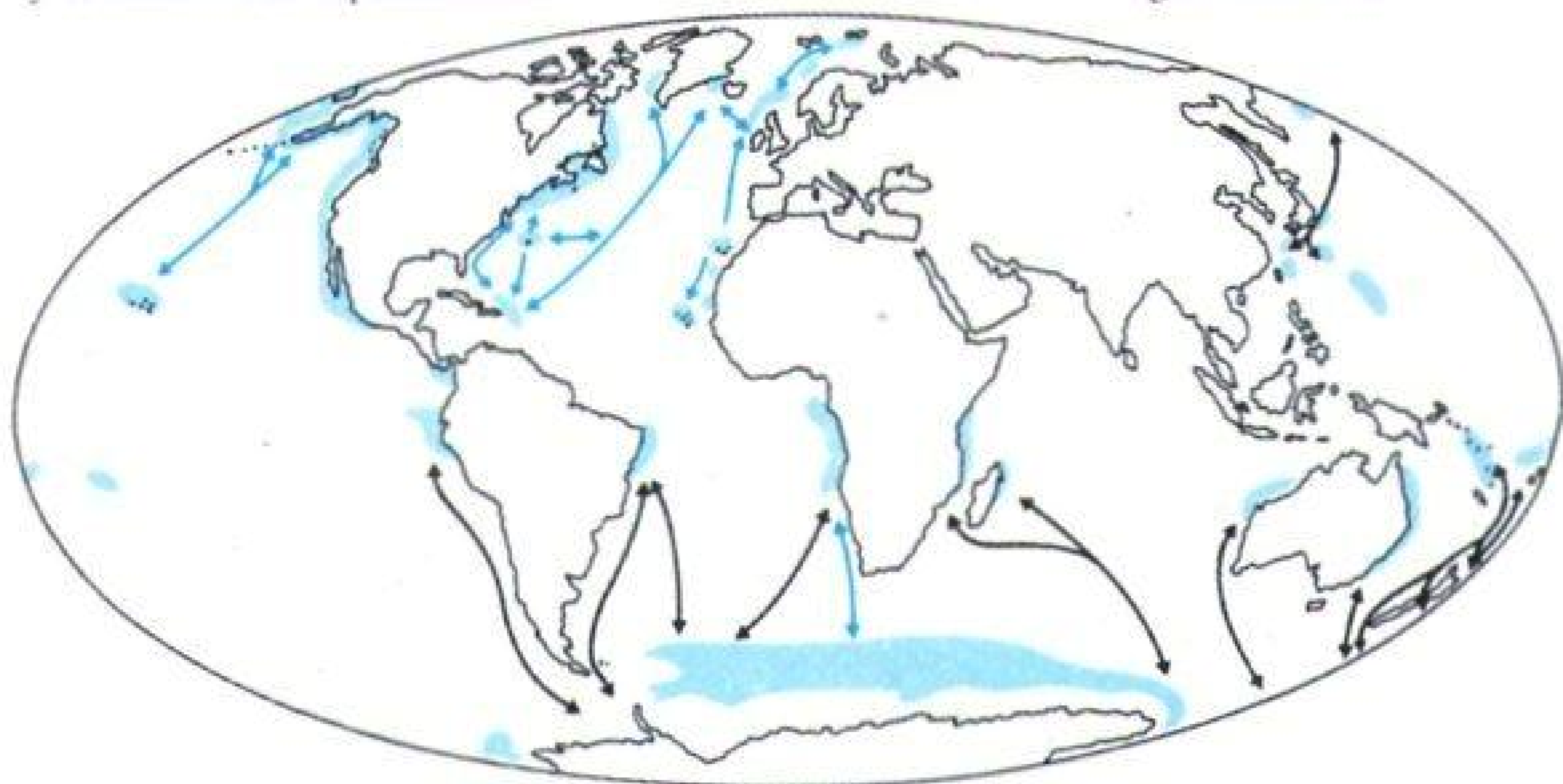
Las migraciones genéticas anuales de las anguilas europeas y americanas *(Anguilla anguilla* y *A. rostrata*, respectivamente) son tan espectaculares como las del salmón. A esos peces se los describe como catadromos porque se reproducen en agua salada pero se alimentan en

Al no toparse con barreras físicas, los animales acuáticos pueden emigrar con relativa facilidad. Algunos animales acuáticos migratorios sí han de enfrentarse con barreras fisiológicas, como pueda ser el paso del agua dulce a la salada o viceversa, pero las especies migratorias han desarrollado sistemas para superar esos inconvenientes. Las migraciones marinas cumplen la misma función que las migraciones sobre tierra firme, es decir posibilitan el que una especie se reproduzca en un lugar y se alimente en otro. El origen de las migraciones es todavía un misterio, pero puede que la separación de los bloques continentales tuviera mucho que ver. Sea como fuere, las migraciones de las ballenas, las anguilas, las tortugas y el salmón son espectaculares.

Las dos poblaciones migratorias que existen de yubartas, una en el hemisferio norte y la otra en el hemisferio sur, nunca compiten por el alimento en las zonas de reproducción, debido al intervalo de seis meses que existe entre el invierno del polo norte y el del polo sur. Después de parir, las ballenas optan por regresar a aguas más frías.



Toda anguila o angula, *abajo*, que se encuentre en aguas europeas o norteamericanas ha nacido en el Mar de los Sargazos, a la altura de la costa sudeste de Florida, *izquierda*. En el viaje de 12.800 km. hacia las aguas europeas tardan hasta tres años. Pasados varios años inician el regreso y mueren en el Mar de los Sargazos, después de reproducirse.

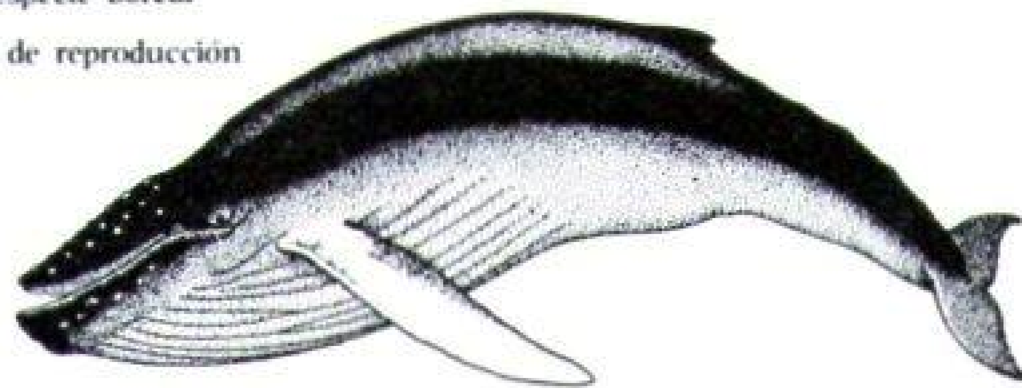


Rutas migratorias de la especie austral

Rutas migratorias de la especie boreal

Zonas de alimentación y de reproducción

Los elementos nutritivos de las corrientes del Antártico mantienen a enormes cantidades de krill, pequeñas criaturas parecidas a gambas de las que se alimentan las yubartas. A pesar de esta abundancia de alimento, las ballenas emigran al norte en invierno hasta las cálidas aguas costeras de Africa, Sudamérica y Australia.



La yubarta, *Megaptera novae-angliae*, vive en las heladas aguas del Artico y el Antártico. Aunque contienen muchos elementos nutritivos, estas frías aguas no son adecuadas para el parto, así que poco antes del invierno emigran hacia el Ecuador en busca de aguas más cálidas y menos profundas. Allí nacen y son amamantados los ballenatos.



agua dulce, al contrario que el salmón, anadromo, que lo hace justo al revés; si bien ambos tienen que superar los mismos problemas fisiológicos cuando pasan del agua salada al agua dulce, y viceversa. Los zoólogos llevan casi tres siglos intentando comprender por todos los medios la biología de la anguila, pues nunca se encuentran adultos sexualmente maduros en el agua dulce. Incluso Aristóteles ya reparó en esto en el siglo IV a.C., afirmando que las anguilas surgían de las «entrañas de la Tierra». Parece ser que las anguilas ponen sus huevos a gran profundidad en el Mar de los Sargazos, a unos cientos de kilómetros al este de Florida. Tras eclosionar como larvas diminutas y planas, los bebés anguila avanzan hacia el agua dulce.

Las anguilas americanas que viven en el este de EE.UU. tardan sólo alrededor de un año en llegar al agua dulce. En este momento son ya claramente anguilas pequeñas, o angulas, de unos 10 cm. de largo. Tras pasar unos años en los ríos, las anguilas adultas —pero no maduras sexualmente— parten de nuevo hacia el océano, encaminándose al Mar de los Sargazos. Nadan a gran profundidad, unos 500 m. o más, y mientras lo hacen se van desarrollando sus testículos y ovarios. Cuando por fin alcanzan el Mar de los Sargazos desovan y mueren.

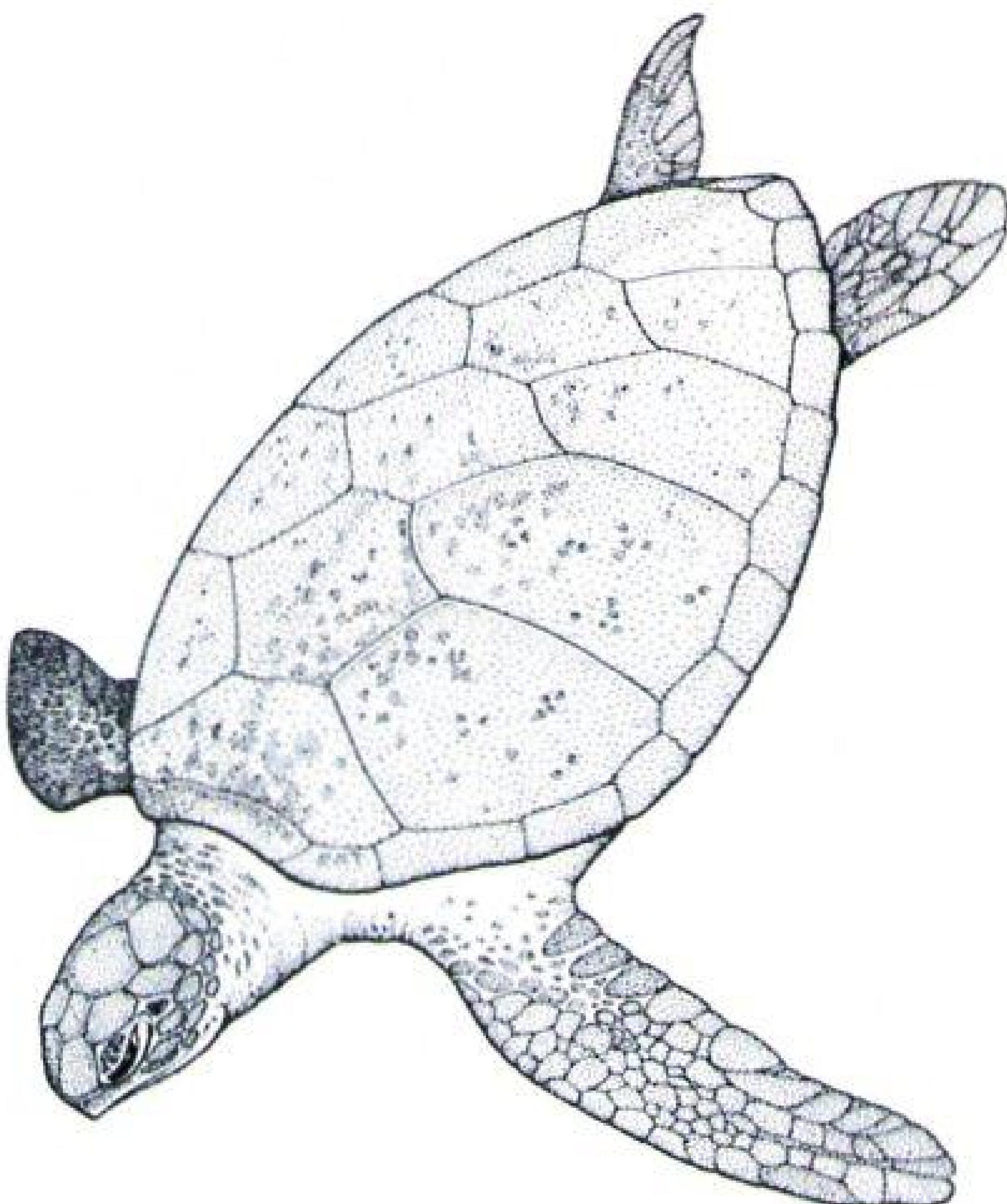
Ninguna exposición sobre las migraciones genéticas estaría completa si no se mencionaran los extraordinarios viajes de la tortuga verde *(Chelonia Mydas)*. Enormes cantidades de estos grandes reptiles se alimentan en las ricas frondas de «hierba de tortuga» que bordean la costa este de Brasil. Las tortugas verdes se reproducen en la isla Ascensión, un diminuto afloramiento de roca a unos 1.400 km. en el océano Atlántico. Estudios de seguimiento han demostrado que las tortugas jóvenes que nacieron en Ascensión regresan dos años después para procrear en el mismo lugar. Cómo se las arreglan para dar con un blanco tan diminuto en la inmensidad del océano es un misterio. El por qué las tortugas se empeñan en emigrar para reproducirse es sin duda algo desconcertante, pues existen enclaves perfectamente adecuados próximos a sus pastos. Se ha apuntado que antes de que el proceso de la deriva de los continentes separara las masas continentales de Sudamérica y Africa, la isla Ascensión era sólo una isla ribereña a la que las tortugas llegaban fácilmente en un día. Fieles a su antigua base de reproducción que se desplazaba hacia el Este, las tortugas se vieron obligadas a realizar un viaje cada vez más azaroso para reproducirse. El que lo consiguieran constituye un testamento de su extraordinaria capacidad de navegación.

El proceso mismo del desove, o puesta de los huevos, es también una actividad rítmica y cuidadosamente calculada. Hay una enorme cantidad de datos que muestran cómo la variación rítmica de la Luna, de menguante a creciente, ejerce una enorme influencia sobre el desove, bien directamente a través de los niveles de iluminación nocturna, bien indirectamente por los efectos provocados sobre las mareas. Existe una razón de peso para la Luna juegue tan importante papel: la vida en el mar es en gran medida ajena a los acusados efectos que las estaciones ejercen sobre los animales terrestres, conforme a los cuales estos últimos sincronizan sus actividades reproductoras. En un medio homogéneo y de proporciones tan gigantescas como las del mar, es de vital importancia que el mecanismo de reproducción esté sincronizado, de manera que exista una probabilidad razonable de que los huevos de

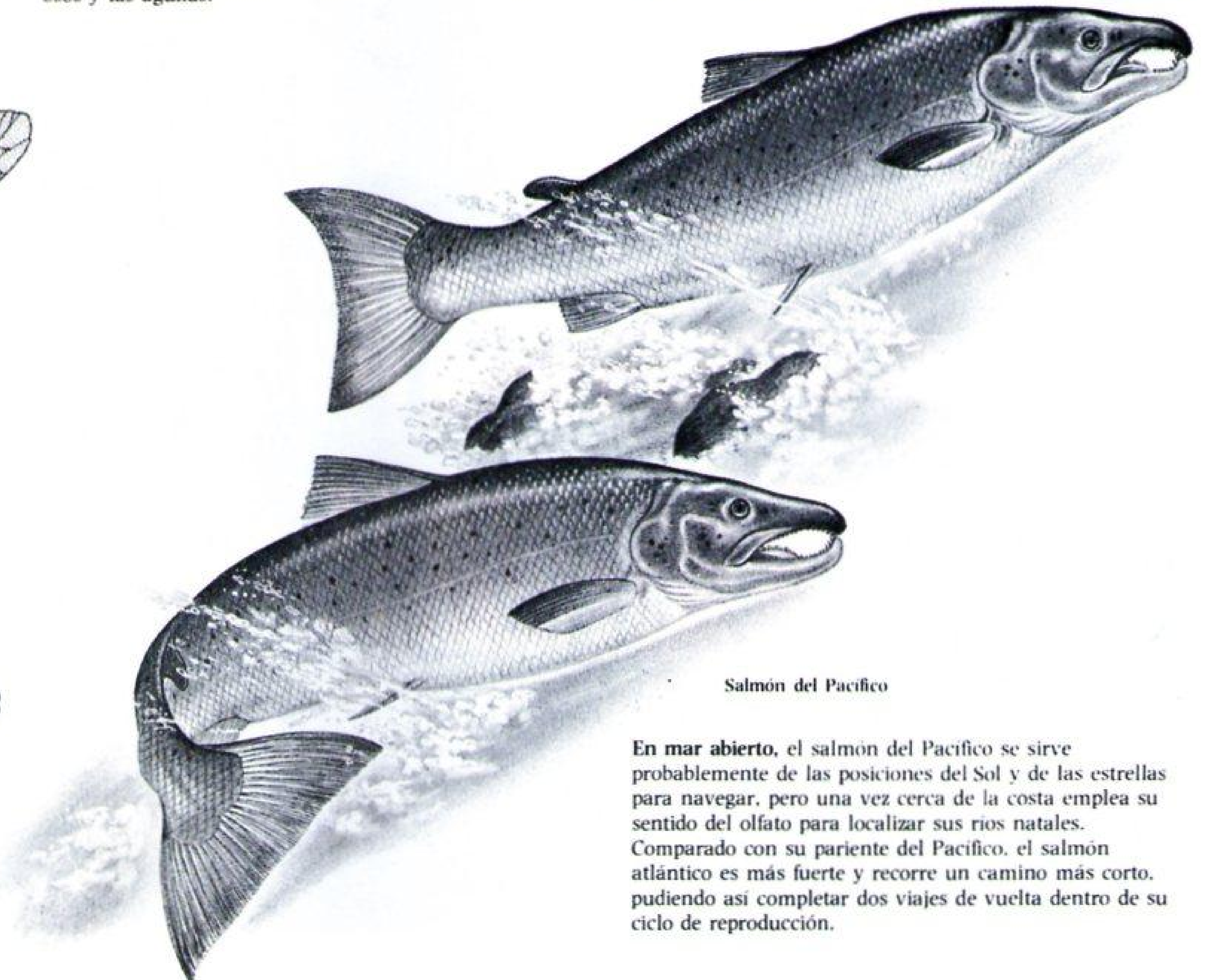


Los salmones nacen en las cabeceras de los ríos y emigran al mar; posteriormente regresan al agua dulce para reproducirse, *derecha*. Tras pasar dos o tres años en agua dulce, los jóvenes salmones del Pacífico, *Oncorhynchus spp.* descienden por los ríos hasta el mar, para disfrutar del abundante alimento de la plataforma continental. Después de dos o tres años los salmones se sienten impelidos a reproducirse, y se dirigen de vuelta hacia el continente. Localizada su corriente natal, la siguen curso arriba por los afluentes, hasta alcanzar los bajíos de reproducción en donde nacieron. Tras desovar una sola vez, el salmón del Pacífico muere, proporcionando abundante comida a animales como los osos y las águilas.





Durante la época de reproducción las tortugas verdes, *Chelonia mydas*, se reúnen en la isla Ascensión, a 1.400 km. de sus zonas de alimentación junto a la costa de Brasil. Puede que las tortugas encuentren el camino siguiendo el olor de la isla, el cual se desplaza hacia el oeste con las corrientes superficiales: las tortugas conservan el recuerdo de este olor desde los primeros días de su vida.



Salmón del Pacífico

En mar abierto, el salmón del Pacífico se sirve probablemente de las posiciones del Sol y de las estrellas para navegar, pero una vez cerca de la costa emplea su sentido del olfato para localizar sus ríos natales. Comparado con su pariente del Pacífico, el salmón atlántico es más fuerte y recorre un camino más corto, pudiendo así completar dos viajes de vuelta dentro de su ciclo de reproducción.

determinado individuo sean fecundados por el esperma de otro.

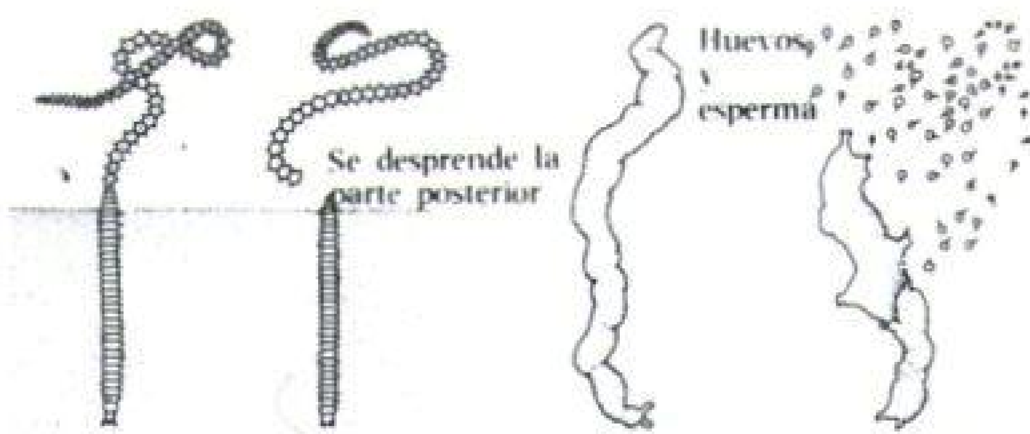
La mayor parte de los invertebrados se limitan a derramar fortuitamente sus huevos y su esperma en el agua, de manera que si todos los miembros de la población realizan esto al mismo tiempo las posibilidades de fecundación se incrementan notablemente. Con mucho, el ejemplo más impresionante lo constituye el gusano palolo (*Eunice viridis*) del Pacífico sur. Este gusano, pariente del gusano arenícola de las riberas arenosas de las zonas templadas, vive entre los arrecifes de coral que rodean en el Pacífico las islas de Samoa y Fiji y se reproduce sólo una vez al año, de manera un tanto curiosa. Según se acerca la temporada de desove, en noviembre, la parte posterior de cada gusano se llena completamente de huevos, lo que le confiere un matiz azulado, o de esperma, que le da un aspecto rojizo. Durante el día los gusanos permanecen enroscados en las grietas del arrecife, pero por la noche emergen para buscar entre el coral invertebrados microscópicos de los que se alimentan. Durante esas correrías detectan el nivel de iluminación lunar. Entonces, hacia la Luna llena, la parte posterior de los gusanos se desprende y sube serpenteando hasta la superficie. Una vez allí, se abre violentamente y el mar se pone blanco debido a las células sexuales, o lecha, que se desparraman. Los habitantes de Samoa consideran un manjar exquisito la lecha del palolo asada. La Luna llena de noviembre señala pues un festín anual para ellos.

Cuidadosos experimentos, llevados a cabo bajo condiciones controladas, muestran que es precisamente el número de horas de iluminación solar lo que activa al máximo la disposición de los gusanos, de manera similar a como el aumento de la duración de los días trae consigo la receptividad sexual en los mamíferos y en los pájaros, y desencadena los coros al amanecer. Pero la liberación efectiva de las bolsas de esperma y de huevos es provocada por la presión ejercida por el agua del mar en una determinada fase de la marea.

Un efecto similar aunque menos llamativo se observa en otros tipos de gusano. El palolo del Atlántico (*Leodice fucata*), que vive entre las rocas coralinas de las islas Tortugas, a la altura de la costa de Florida, sale en multitud todos los años durante tres días después del último cuarto menguante de la Luna, entre el 29 de junio y el 28 de julio. Algunas otras especies parecen relacionar su actividad reproductora con el ritmo lunar.

Solamente se conoce un caso de erizo de mar que responda a un ritmo lunar: la especie *Diadema setosum*, del Mar Rojo, desova cada Luna llena, siéndole necesarias las cuatro semanas del ciclo lunar para que pueda madurar una nueva remesa de huevos y de esperma. No se conoce ningún otro ejemplo de periodicidad lunar entre el resto de las especies del erizo de mar, ni siquiera entre las que viven en latitudes y hábitats similares. Pero los pescadores del Mediterráneo afirman que el mejor momento para comer erizos de mar es el de la Luna llena.

A través de su acción sobre las mareas, la Luna llena influye también en la reproducción de unas pocas especies de peces. En concreto, en el *Enchelyopus cimbrus*, de la costa este de Canadá, la temporada de reproducción dura varios meses, alcanzando la cota máxima en julio y agosto. Los huevos son pelágicos, es decir, flotan en mar abierto hacia la superficie. Un muestreo rutinario de las aguas de superficie revela una gran abundancia de huevos coincidiendo con las



Durante el desove, la parte posterior del gusano palolo, *Eunice viridis*, se engruesa y es atraída por la luz. La parte anterior, *izquierda*, permanece en una grieta, pero la posterior se desprende y derrama los huevos o el esperma.



El gusano palolo desova hacia la Luna llena de noviembre, *izquierda*. El extremo de cada gusano detecta la Luna creciente y se desprende al alcanzar ésta un máximo.



Para muchos de los habitantes de la costa sur del Pacífico, incluidos los samoanos, la Luna llena de noviembre anuncia un festín, porque es entonces cuando el gusano palolo sube a la superficie, y se lo puede pescar en enormes cantidades. Los isleños del mar del sur asan los gusanos recién cogidos, considerados algo exquisito. Esta pesca es una de las más inocuas, pues por muchos gusanos que se cojan los individuos reproductores no corren peligro. La razón estriba en que los gusanos padre, los que soltaron las bolsas de huevos, están a salvo ocultos en las oscuras grietas de la roca y de los arrecifes del coral.

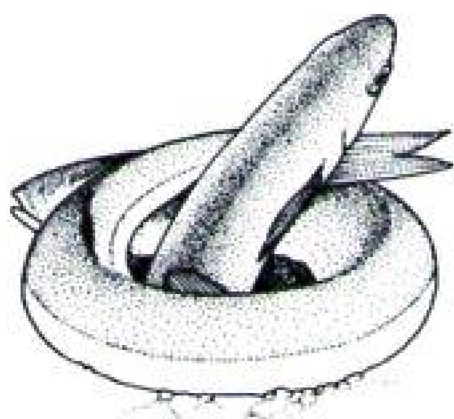
mareas vivas de Luna llena. Entre las mareas vivas de julio y agosto el índice de producción de huevos es casi nulo. Incluso las mareas muertas —unos 3 m. más bajas que las mareas vivas de la costa este— resultan insuficientes para desencadenar el desove. Dado que dichos peces viven a una profundidad de unos 30 m. o más, en donde los cambios de temperatura e iluminación son probablemente insignificantes, la señal concreta que provoca el apareamiento debe ser la elevación y el descenso rítmicos de la presión del agua al acercarse la marea viva.

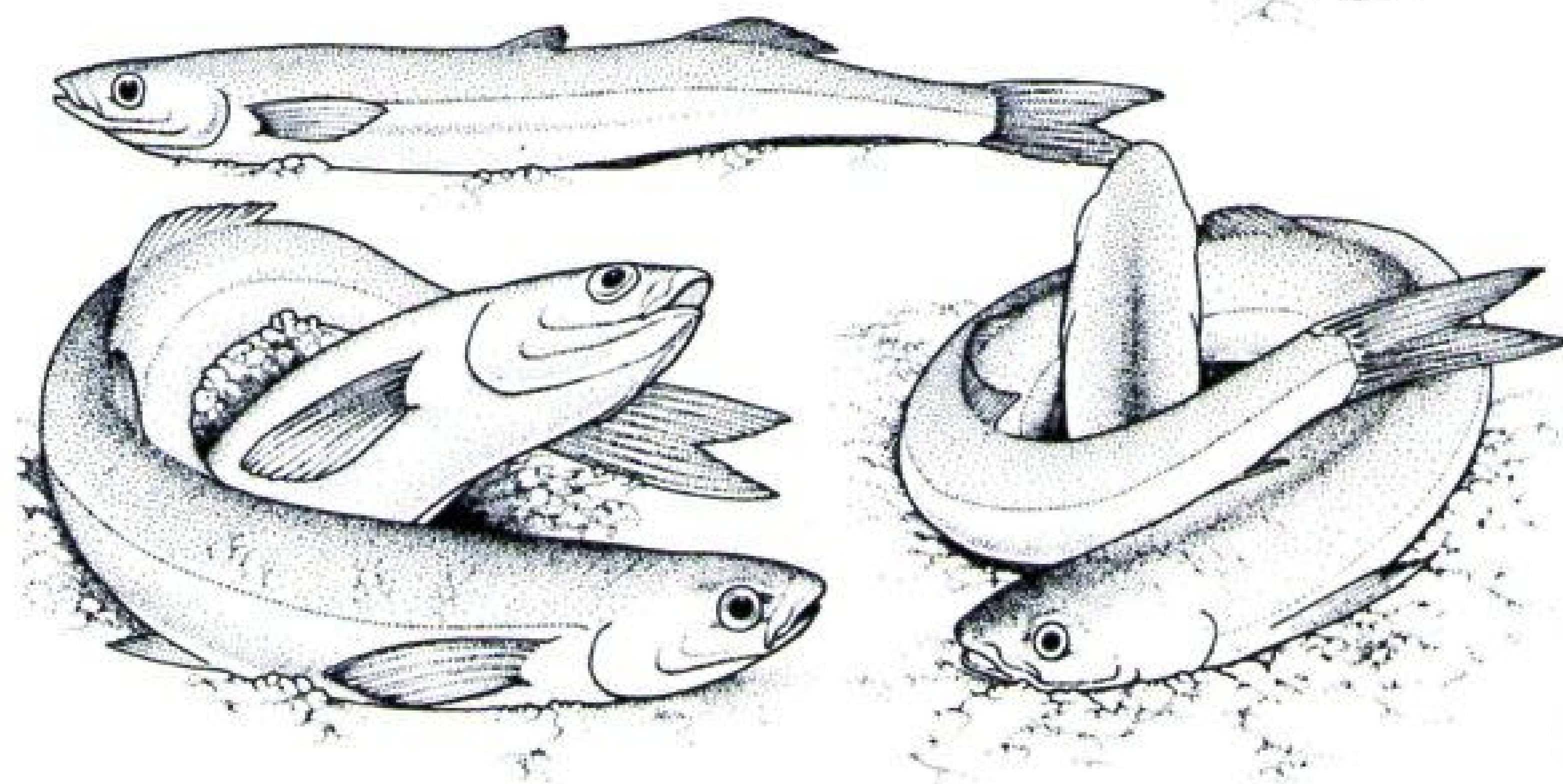
Al otro lado, en la costa oeste de Norteamérica, especialmente en la región de San Pedro en California, vive otro pez con una extraordinaria vida sexual. Este pequeño pez, el grunión o eperlano de California *(Leuresthes tenuis)*, entierra sus racimos de huevos en la arena a la altura del nivel máximo alcanzado por el agua durante las mareas vivas y las mareas muertas. En el momento en que el agua alcanza el nivel máximo, los gruniones «echan a correr». Nadan hasta quedar varados en la orilla en grandes cantidades. Es fácil observarlos mientras se aparean y depositan los huevos en los surcos poco profundos que la hembra va haciendo, al tiempo que expulsa los huevos. El suave chapoteo del agua cubre los huevos con arena, y en 60 segundos los adultos han regresado nadando al mar. Los huevos permanecen frescos y húmedos, pero no quedan al descubierto hasta las siguientes mareas vivas. Entonces la erosión de su cubierta protectora hace que eclosionen, y la larva del grunión se dirige al mar, iniciando así una vida libre entre el plancton. Durante las mareas muertas tienen lugar migraciones mucho menores, de modo que existe un ciclo quincenal de maduración de los huevos y del esperma. Parece ser que la variación de la presión del agua, asociada al ritmo de las mareas, actúa para controlar el desarrollo de los huevos, que continúa sin interrupción de marzo a junio, con un fuerte incremento a finales de abril y en mayo.

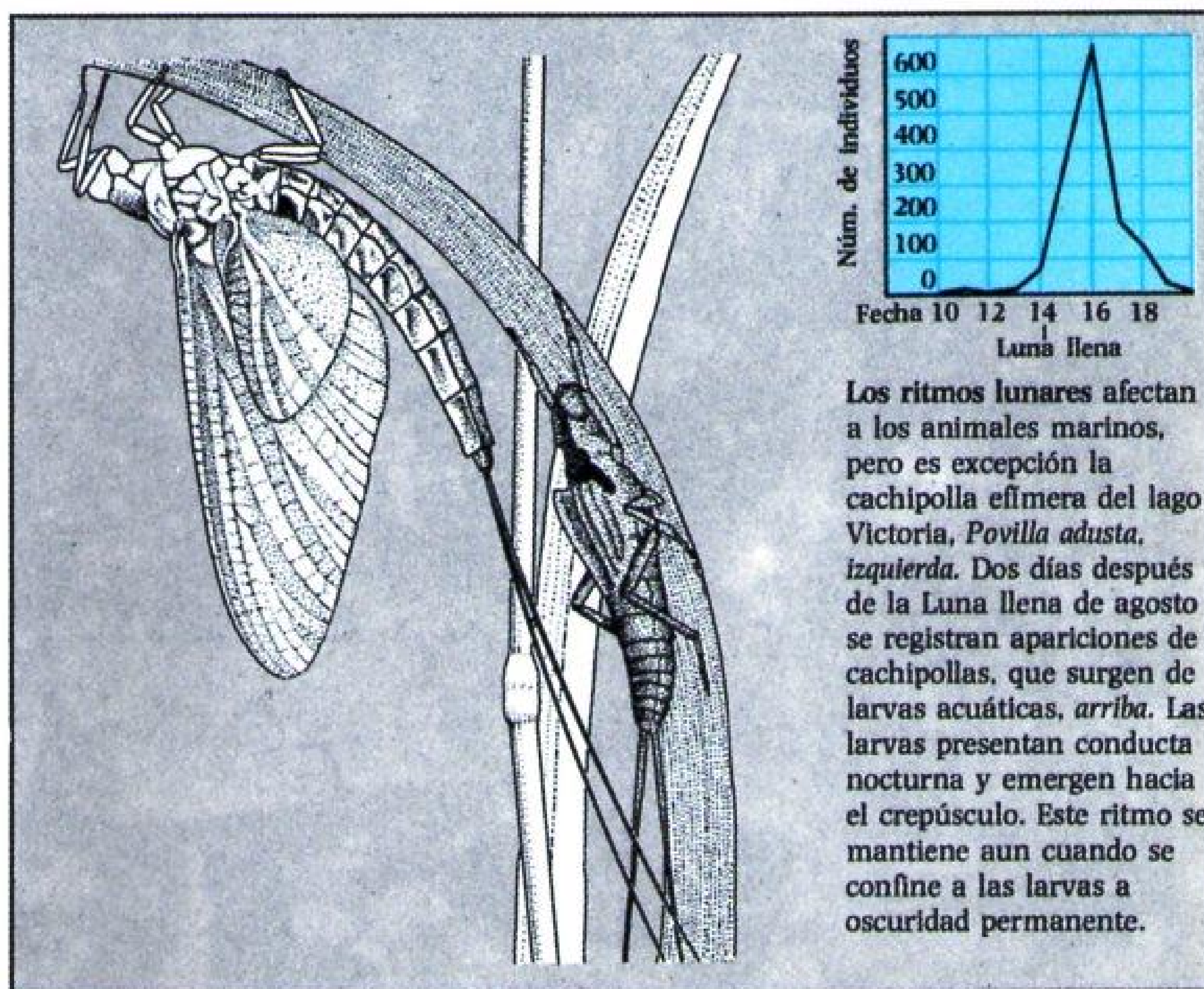
Puede que la sincronización del desove con las fases de la Luna constituya un fenómeno mucho más extendido de lo que se ha pensado hasta ahora. Se ha descubierto, por ejemplo, que una especie de la cachipolla efímera, en concreto de la *Povila adusta*, que habita la atmósfera sobre el lago Victoria y el lago Alberto, presenta un ritmo lunar. Las hembras adultas de la cachipolla depositan sus huevos en el agua, y de estos huevos nacen larvas que habitan en el agua. Unos dos días después de la Luna llena de agosto surgen cada año millares de moscas. El comportamiento de la larva de la cachipolla presenta también un ritmo circadiano. Durante el día las larvas permanecen ocultas e inactivas en escondrijos practicados en el lodo del fondo del lago, pero al atardecer emergen y nadan vigorosamente hacia la superficie. Determinados experimentos en los cuales las larvas son mantenidas en condiciones de oscuridad permanente, revelan que el ritmo se sigue manteniendo, lo que sugiere que es innato.

Las investigaciones futuras sobre la conducta reproductora rítmica de los animales pueden llegar a revelar que la mayoría de las especies que desovan se ven afectadas por una combinación de una estación reproductora anual, la periodicidad mensual de la Luna y las mareas, y el ciclo diario de intensidad de la luz. El propósito global de todos estos ritmos es sincronizar las actividades reproductoras de toda una población, quizá nada más que durante una sola hora una vez al año. Tal conducta asegura el mantenimiento de la especie en toda reproducción.

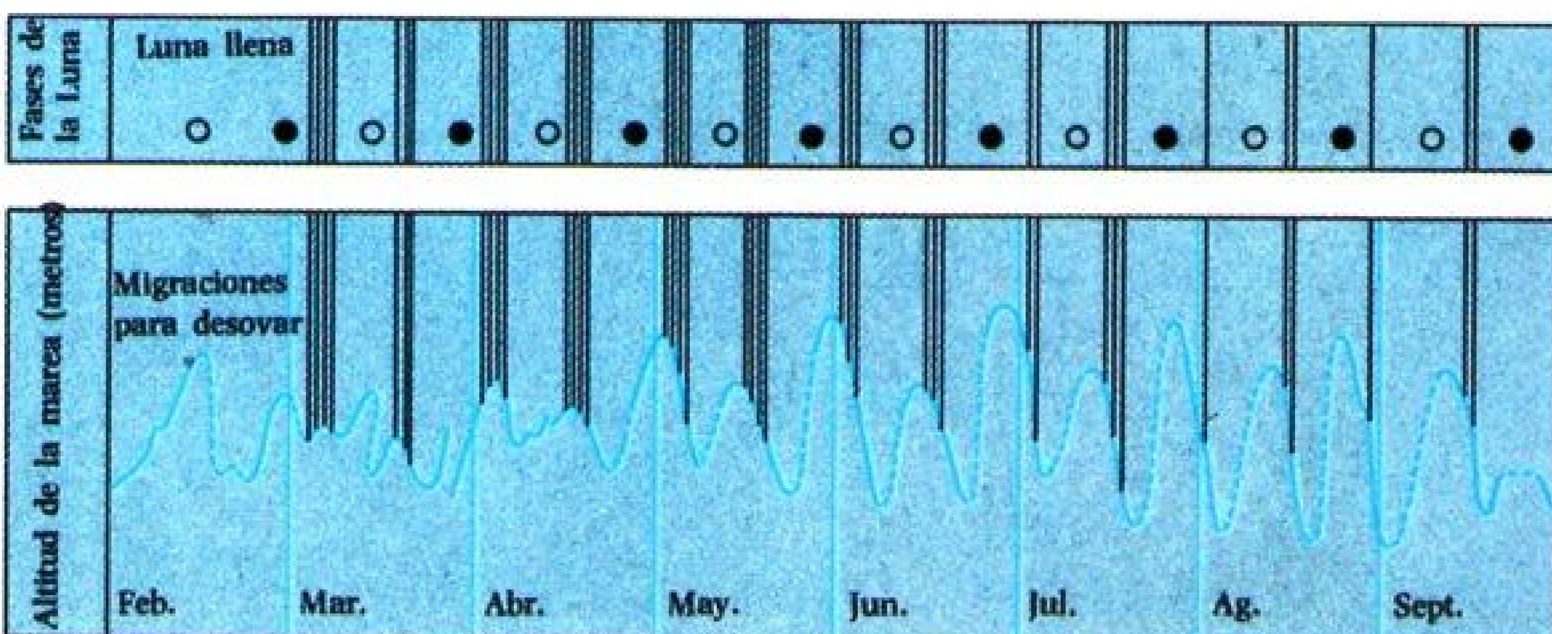
El grunión californiano, *Leuresthes tenuis*, es un pez de 15 cm que desova de noche, bien durante la Luna llena o la Luna creciente. Trasportados en una ola hasta la orilla, el macho y la hembra se entrelazan durante un breve instante, y la hembra expulsa sus huevos que son fecundados por el macho y depositados a unos 5 cm bajo tierra. Los peces son de nuevo arrastrados al mar y dos semanas después, durante la siguiente marea viva alta, eclosionan los huevos. Cada 15 días pueden ponerse huevos.



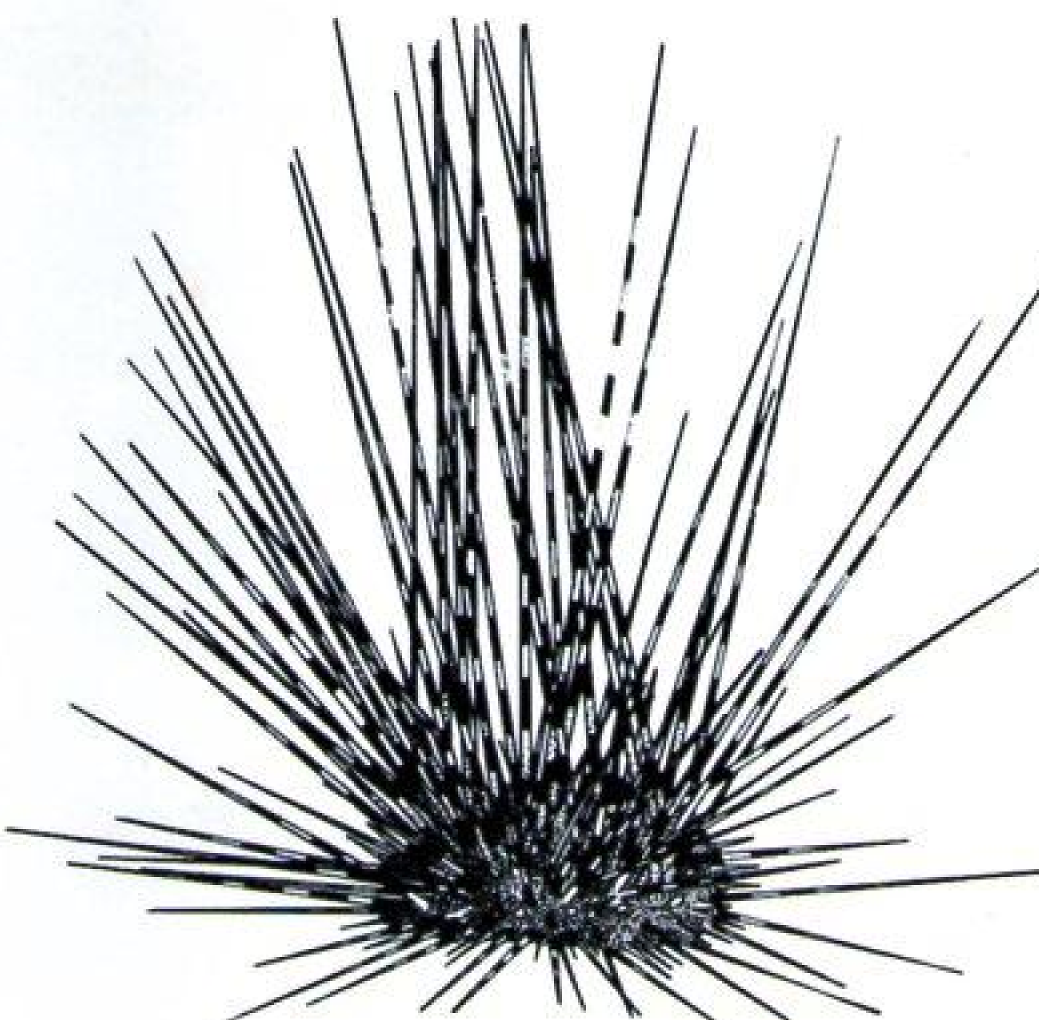




Los ritmos lunares afectan a los animales marinos, pero es excepción la cachipolla efímera del lago Victoria, *Povilla adusta*, *izquierda*. Dos días después de la Luna llena de agosto se registran apariciones de cachipollas, que surgen de larvas acuáticas, *arriba*. Las larvas presentan conducta nocturna y emergen hacia el crepúsculo. Este ritmo se mantiene aun cuando se confine a las larvas a oscuridad permanente.



El grunión desova de mayo a septiembre, pero la temporada de reproducción puede concluir a finales de junio. Puede que las migraciones estén regidas por cambios de la presión del agua debidos al ciclo rítmico de las mareas, y por la percepción de las fases lunares. Pueden predecirse con gran seguridad pues siempre acontecen durante las mareas altas vivas y muertas, por ello la pesca del grunión ha de estar regulada.



Sólo hay un erizo de mar, en concreto el *Diadema setosum*, *izquierda*, que presente un ritmo lunar, y en un solo lugar. En el Mediterráneo, en la región de Suez, los erizos desovan durante la Luna llena, quedando listos para volver a desovar durante la siguiente. En Nápoles, Marsella y Alejandría y en la costa atlántica de Roscoff, no hay ni rastro de desove alguno relacionado con la Luna. El porqué este desove está tan restringido es todavía un misterio.


ップヌードル
日清食品



Ciclos de población

Cada vez que se produce un nuevo nacimiento, con el primer grito y la primera respiración del recién nacido se completa una nueva generación. Tanto el padre como la madre han culminado su obra en lo que a reproducción se refiere, su *raison d'être* como parte de la raza humana. El hombre, como cualquiera de las especies animal o vegetal que habitan la Tierra, tiene un ciclo vital en el que las etapas de desarrollo se suceden en una secuencia ordenada. Los patrones cíclicos no tienen principio ni fin en tanto que la especie continúa, ya que el final del ciclo representaría la extinción. En los seres humanos el círculo se ve interrumpido si la reproducción no se lleva a cabo, bien sea por voluntad propia o por impotencia, por muerte natural, o por ser matados antes de alcanzar la edad de la procreación.

La palabra generación suele utilizarse con el mismo significado que ciclo vital, pero generación hace referencia estrictamente al tiempo transcurrido desde el nacimiento de los padres hasta el nacimiento del nuevo ser. Ambos términos son a menudo sinónimos, pero en algunos animales, como los áfidos que plagan las plantas, el ciclo vital incluye varias generaciones. Tomando como punto de partida para el ciclo vital de los áfidos el huevo producido en otoño y destinado a durar todo el invierno, el siguiente ciclo comenzará con la producción del nuevo racimo de huevos invernantes en el otoño del siguiente año. Dicho ciclo vital anual está dividido en multitud de generaciones, pues los áfidos hembras producen muchos clones de origen exclusivamente femenino con embriones en desarrollo de la nueva generación dentro de ellas.

La reproducción anual es corriente entre los seres vivos. El hombre ha liberado su capacidad de reproducción del factor tiempo, pero en los demás seres las estaciones ejercen una profunda influencia en los ciclos vitales.

Las plantas anuales son un buen ejemplo, ya que al pasar el invierno como semillas resistentes, crecen, florecen y dan lugar a nuevas semillas durante el verano. Existe un amplio grupo de plantas, las bisanvas, entre las que se cuentan importantes tubérculos, tales como pastinacas, zanahorias, remolacha, colinabos, remolacha azucarera, que tienen un ciclo vital de 2 años. Durante el primer año, las bisanvas crecen desde la semilla y almacenan alimentos en una raíz engrosada o en algún otro órgano destinado al almacenaje. Dicho almacenaje de alimento mantiene a la planta durante el invierno, de modo que a la primavera siguiente puede crecer con rapidez y producir flores y semillas. Las perennes —plantas que viven más de 2 años— tienen un sistema de raíz persistente o estructura de almacenaje, como bulbos o tubérculos, y producen flores y semillas todos los años.

Entre los animales, muchos invertebrados de cuerpo blando tienen ciclos vitales de 1 año, pero pueden tener 1, 2 ó 3 ciclos dentro del espacio de los 12 meses. El caso opuesto es el de la cigarra, *Magicicada spp*, originaria de Norteamérica, que tiene un ciclo de 17 años en estado de ninfa, alimentándose bajo tierra de la savia de las raíces de las plantas. Los adultos que surgirán de estas ninfas durante ese mismo año pasan todo el verano cantando, luego se aparean y las hembras ponen los huevos. Las ninfas que salen del cascarón se esconden bajo tierra y desaparecen durante los siguientes 17 años. Este ciclo de 17 años es un ciclo local, por lo que raramente los individuos que no salen del cascarón con la mayoría tienen posibilidad de encontrar pareja.

En la mayor parte de las poblaciones existen patrones de cambios que acompañan a los períodos de desarrollo en el ciclo vital de un ser vivo. Las especies animal y vegetal experimentan irregularidades en la población, lo que responde a cambios en la alimentación y en el clima, mientras que algunas de ellas muestran ciclos determinados de cambio en el que el número de individuos aumenta y disminuye. Los ciclos de 4 y 10 años son comunes en poblaciones de aves y mamíferos, mientras que los de 6 y 8 años se dan en algunos tipos de mariposas y los de 2 y 4 años son típicos de algunas enfermedades como el sarampión y la rabia, que afectan al hombre y a otros animales.

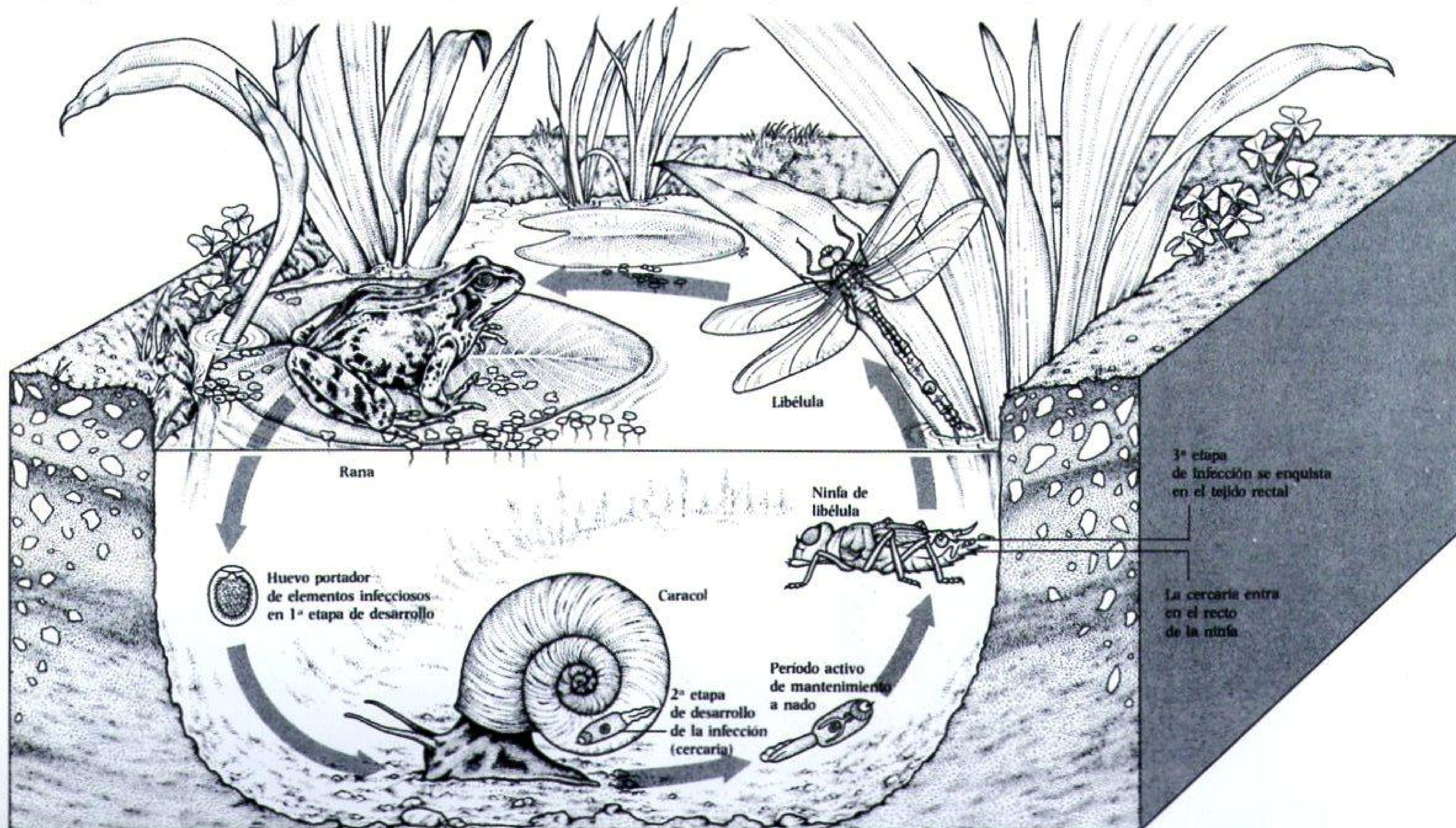
CICLOS DE POBLACION. *Ciclos vitales*

El desarrollo de casi todas las plantas y animales tiene lugar en un ciclo de fenómenos que, partiendo de un huevo fecundado, evoluciona a través de varias etapas de crecimiento y termina en un estado de madurez que completa el ciclo, produciendo unos huevos que serán fecundados y darán lugar a su vez a una nueva generación. Este es el ciclo vital de un organismo, que como cualquier fenómeno cíclico atraviesa una serie de períodos hasta volver a su punto de partida. También existen en el reino animal y vegetal algunas excepciones a estos patrones cíclicos, cuyo punto de partida es normalmente el huevo fecundado. Muchos organismos microscópicos, incluidas las bacterias, larvas y animales de una sola célula (protozoos), se reproducen dividiéndose en 2 en el momento de la escisión, o mediante yemas que después se separarán de las células procreadoras para hacerse independientes. El ciclo vital no sexual se convierte así en un proceso de crecimiento, escisión y retorno al crecimiento. De vez en cuando estos organismos experimentan la inserción de un período sexual en su ciclo. En dicho período, 2 individuos de sexo opuesto o diferente tendencia se encuentran, se unen y dan lugar a una especie de huevo que puede resultar útil por su resistencia a dificultades ambientales específicas.

Los ciclos vitales, ya sean sexuales o asexuales, no son en modo alguno uniformes y difieren en muchos aspectos. Una variación importante es el período de tiempo que tarda en completarse el ciclo vital. Tanto para animales como para plantas, la regla general es que cuanto mayor sea un organismo, más largo será su ciclo vital. Así pues, mientras que un huevo de moscarda tarda sólo 3 semanas en conseguir un peso celular o biomasa de adulto, el huevo microscópico del elefante tarda aproximadamente 14 años en alcanzar el peso normal de 3.500 kg. de una hembra adulta capaz de producir huevos fértiles. La mayoría de los organismos que constituyen una amenaza para el hombre, bien sean malas hierbas, epidemias o enfermedades, son un trastorno principalmente por su pequeño tamaño que hace que tengan un corto período de generación. En entornos favorables, las vidas de duración breve permiten rápidos desarrollos de malas hierbas o epidemias, por eso los animales y las plantas grandes nunca pueden causar epidemias o enfermedades, pero sí, sin embargo, los mosquitos y muchas hierbas.

La duración de un ciclo vital tiene otras implicaciones importantes para el tipo de vida de un organismo. En un ciclo vital muy corto la supervivencia depende más de la cantidad de huevos producidos que de la calidad, mientras que en organismos con ciclos vitales largos ocurre lo contrario. Así, animales con ciclos cortos, como los insectos, alcanzan la madurez rápidamente y depositan una gran cantidad de huevos que se dispersan fácilmente y también son fácilmente destruidos o comidos por otros animales. A medida que el ciclo se alarga, mayores son el tiempo y la energía empleados en él hasta llegar a la madurez, y existe por tanto un mayor interés en cubrir el capital total asignado a dicho proyecto, en base a mecanismos de defensa, mayor eficacia en obtención de comida y enfrentamientos con un mundo competitivo. Los huevos producidos tienden a ser pocos en número y bien provistos, sin embargo, de reservas de comida para alimentar al nuevo individuo en sus primeras etapas de crecimiento y desarrollo. Y los padres, generalmente, emplean una considerable cantidad de energía en proteger y aprovisionar a la nueva generación.

El trematodo del pulmón. *Haematoloechus medioplexus*, desarrolla su ciclo vital en tres huéspedes, tanto en el agua como en la tierra. Los ejemplares adultos de este parásito común viven en los pulmones de ranas, como la *Rana pipiens*, y sapos, como el *Bufo americanus* de Norteamérica, frecuentes en estanques y lagos. Los huevos depositados por los adultos son barridos del pulmón mediante la acción de diminutos pelos o cilios, pasando a través del aparato digestivo, hasta ser expulsados en los excrementos de los anfibios. El caracol marino, que consume desechos orgánicos en el fondo de los estanques, ingiere entonces estas heces portadoras de elementos infecciosos en su primera etapa de desarrollo. Las enzimas del intestino del caracol estimulan la maduración de los huevos, y los jóvenes parásitos se refugian a través de la pared intestinal, llegando hasta el hígado. Allí se desarrollan, se reproducen asexualmente y, en casos de infecciones graves, destrozan el hígado por completo. Unos tres meses después, las cercarias, segunda etapa infecciosa, escapan del caracol. Estas pueden mantenerse nadando sólo 30 horas, tras la que tienen que invadir un nuevo huésped: la ninfa de la libélula *Sympterum*. Acoplado para la función respiratoria, el recto de la ninfa toma y expulsa agua a través del ano. Cualquier cercaria próxima, al ser arrastrada al recto de la ninfa, se refugia en seguida en el tejido rectal, formando un quiste alrededor de ella. Las ranas y los sapos se comen a las ninfas o a los adultos recién salidos, posados en las hojas mientras se desarrollan sus alas y se curten sus cutículas. La tercera etapa infecciosa surge del quiste en el estómago del anfibio, sube por el esófago y baja por los pulmones, completando el ciclo.

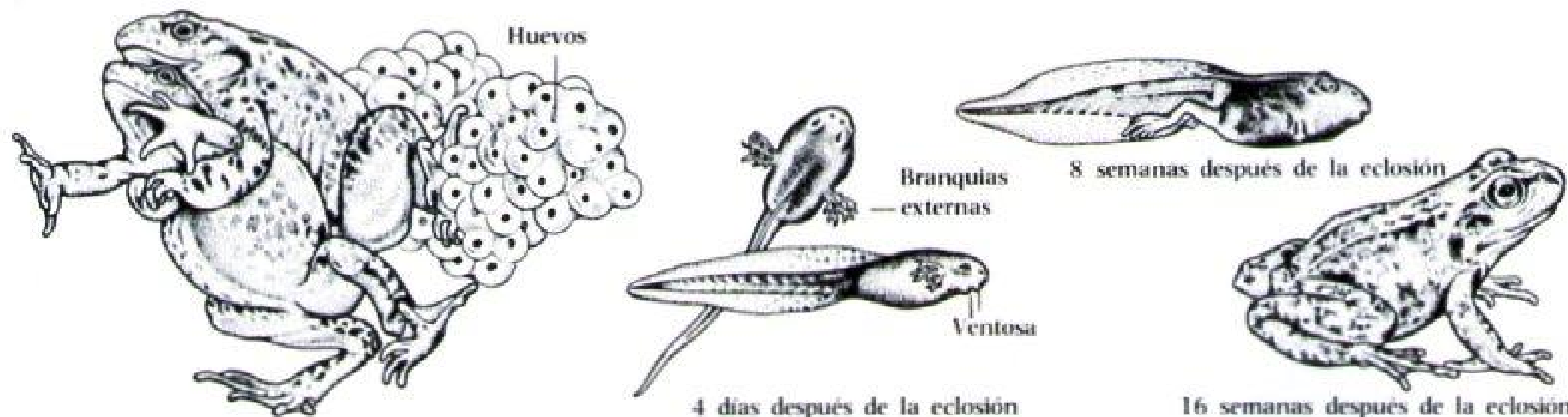


El hábitat ejerce una profunda influencia en algunos organismos. Muchos animales y plantas completan sus ciclos vitales en el mismo hábitat. La cría del elefante, por ejemplo, tiene una estructura y unas necesidades similares a las de sus padres, y si se le limitan el alimento o el espacio se dará una competencia entre los ejemplares jóvenes y los adultos para conseguir sus fines. En la selva es fácil apreciar este tipo de competencia. Los árboles adultos están bastante distanciados entre sí, con sus ramas formando una bóveda. Esta densa sombrilla evita que la luz penetre y que se desarrollen nuevas semillas. Los claros que aparecen en lugares de árboles caídos o talados presentan una exuberancia de nuevos brotes y a menudo los espacios libres entre las sombras se pueblan de nueva vegetación.

Para evitar la enorme competencia que puede originarse cuando tanto los ejemplares jóvenes como los adultos de una especie ocupan el mismo hábitat, muchos seres vivos se sirven de dos hábitats diferentes en el transcurso de su ciclo vital. Por ejemplo, los insectos, que son los que más abundan en la Tierra desde el punto de vista de cantidad de especies, utilizan dos entornos: uno para el desarrollo juvenil y otro para la madurez. La mayoría de los ejemplares adultos de mariposas y polillas vive fundamentalmente en un hábitat aéreo, alimentándose de polen, néctar y frutos en descomposición; pero los herbívoros, larvas de tierra, viven fundamentalmente de la vegetación, masticando hojas, tallos o incluso raíces.

En agua dulce, los escarabajos de agua y los zapateros pueden compartir el espacio disponible con sus crías, pero ejemplares como las libélulas, los frìganos y otros muchos insectos abandonan de adultos el agua para reproducirse y vivir en tierra o en el aire. Entre los vertebrados, los que se sirven principalmente del hábitat agua-tierra son los anfibios, antepasados de los primeros vertebrados que abandonaron el agua para vivir en la tierra. Ranas, sapos, salamandras y tritones son todos anfibios que utilizan el medio acuático en sus etapas adultas. Estos cambios de hábitat y métodos de reproducción conducen a impresionantes alteraciones en la forma, tales como el paso, por ejemplo, de oruga a mariposa. La competencia entre adultos y jóvenes no es la única causa de la búsqueda de un hábitat. En medios con estaciones climáticas, donde el invierno está bien determinado por las temperaturas frías, el hecho de servirse de dos hábitats puede ser una forma de contrarrestar la adversidad del clima. En el agua, la temperatura fluctúa mucho menos que en tierra; por tanto, un hábitat acuático posee salvaguardas naturales contra los cambios bruscos de temperatura. Muchas larvas de insectos continúan creciendo y desarrollándose en el agua durante el invierno, mientras que los adultos que los engendraron han sucumbido ante el frío. La migración es otro método para combatir las condiciones locales adversas. Los pájaros se sirven a menudo de regiones ricas y templadas para criar a sus descendientes, y luego se trasladan a zonas más cálidas para huir del invierno.

Los parásitos son animales o plantas que viven a expensas de —o a menudo en el interior de— otros seres denominados huéspedes. Los ciclos vitales de los parásitos presentan grandes diferencias en cuanto a complejidad, diferencias que están basadas en los cambios de hábitat. El cuerpo del huésped es por definición el hábitat del parásito, pero el hábitat del huésped puede tener influencia sobre aquél. Pocos parásitos



En primavera, las ranas se desplazan a los estanques más próximos para reproducirse. El macho atrapa a la abultada hembra con las patas delanteras y es transportado a su espalda durante unos días. Una vez en el agua, la hembra deposita un racimo de 3.000 a 6.000 huevos, encerrados en una cubierta protectora. Al mismo tiempo, el macho produce el esperma, que se dirige hacia los huevos fecundándolos. Estos se convierten en renacuajos, omnívoros y acuáticos y de muy diferente aspecto al de los adultos. Estos renacuajos utilizan una ventosa para adherirse a la vegetación y respiran mediante branquias externas. Progresivamente pierden las branquias, se les desarrollan las patas y la cola desaparece. Cuatro meses después de la fecundación, el renacuajo se ha convertido ya en una rana adulta, carnívora y fundamentalmente terrestre. Cuatro años más tarde, llega el momento en que entra en la edad de reproducción.



A mayor tamaño de una especie, más largo es su ciclo vital. Un elefante adulto pesa de 3 a 4 toneladas y su altura hasta el lomo es de al menos 3 metros. El feto permanece en el útero cerca de dos años, y los partos son de una sola cría, con la misma estructura y el mismo tipo de alimentación que el adulto. Alcanzan la madurez sexual de los 13 a los 17 años, y pueden llegar a vivir hasta 70. Dado su inmenso volumen necesita una constante alimentación. En algunas zonas de Africa la población del elefante es tan elevada que la vegetación ha sufrido daños considerables.

completan su ciclo vital en el cuerpo de un mismo huésped. Por ejemplo, la lombriz intestinal *(Enterobius spp)* es un ascáride que afecta generalmente a los niños, instalándose en la zona inferior del intestino y alimentándose de la comida ya digerida. La plaga puede repetirse en el caso de ingerir fortuitamente los huevos como resultado de negligencia en la higiene. Algo similar sucede con los cerdos, presa de otra plaga de ascárides llamada *Ascaris*.

Lo más corriente es que los parásitos vivan en dos huéspedes diferentes, desarrollando su etapa primera en uno, y pasando a otro en la etapa adulta capaz de reproducirse. El parásito platelminto *Schistosoma* ocasiona una grave enfermedad tropical: la bilharciasis. Las lombrices adultas viven en los vasos sanguíneos del abdomen del hombre, incluidos los del intestino o la vejiga urinaria, mientras que los ejemplares jóvenes utilizan como huéspedes a los caracoles. En algunos parásitos intervienen incluso tres huéspedes, dos para las etapas inicial y juvenil y otro tercero para la etapa adulta. Pero en cualquier tipo de parásito el paso de un huésped al siguiente constituye una tarea arriesgada. Cuando estos traslados tienen lugar en el agua, los parásitos atraviesan a menudo por una etapa de nadadores, como puede observarse, por ejemplo, en el caso del trematodo *Haematoloechus*, que vive una vida sedentaria como adulto en los pulmones de ranas y sapos.

En condiciones terrestres, los posibles riesgos son aun mayores, debido al problema de la desecación. El complejo ciclo vital del *Dicrocoelium dendriticum*, trematodo del hígado de las ovejas, ilustra el modo de realizar el traslado en el medio terrestre. Los huevos del *Dicrocoelium*, expulsados en las heces de las ovejas, se los comen los caracoles. Se desarrollan entonces unos ejemplares jóvenes que al abandonar a los caracoles les producen tantas molestias que éstos los envuelven en bolas de baba. Dicha baba protege a los parásitos de la desecación, al tiempo que representa un excelente bocado para los siguientes parásitos, las hormigas. Una vez que las hormigas se han comido estas bolas de baba, los parásitos juveniles se liberan, invadiéndoles el cuerpo. Continuando su proceso de desarrollo, los parásitos se desplazan hacia la cabeza de las hormigas alterando su conducta: éstas se encaraman a los tallos de hierba quedando sujetas a ellos por la mandíbula. En esta posición es fácil que la hormiga sea comida por una oveja y, así, los parásitos que se encuentran en su interior pueden completar su ciclo vital introduciéndose en su último huésped.

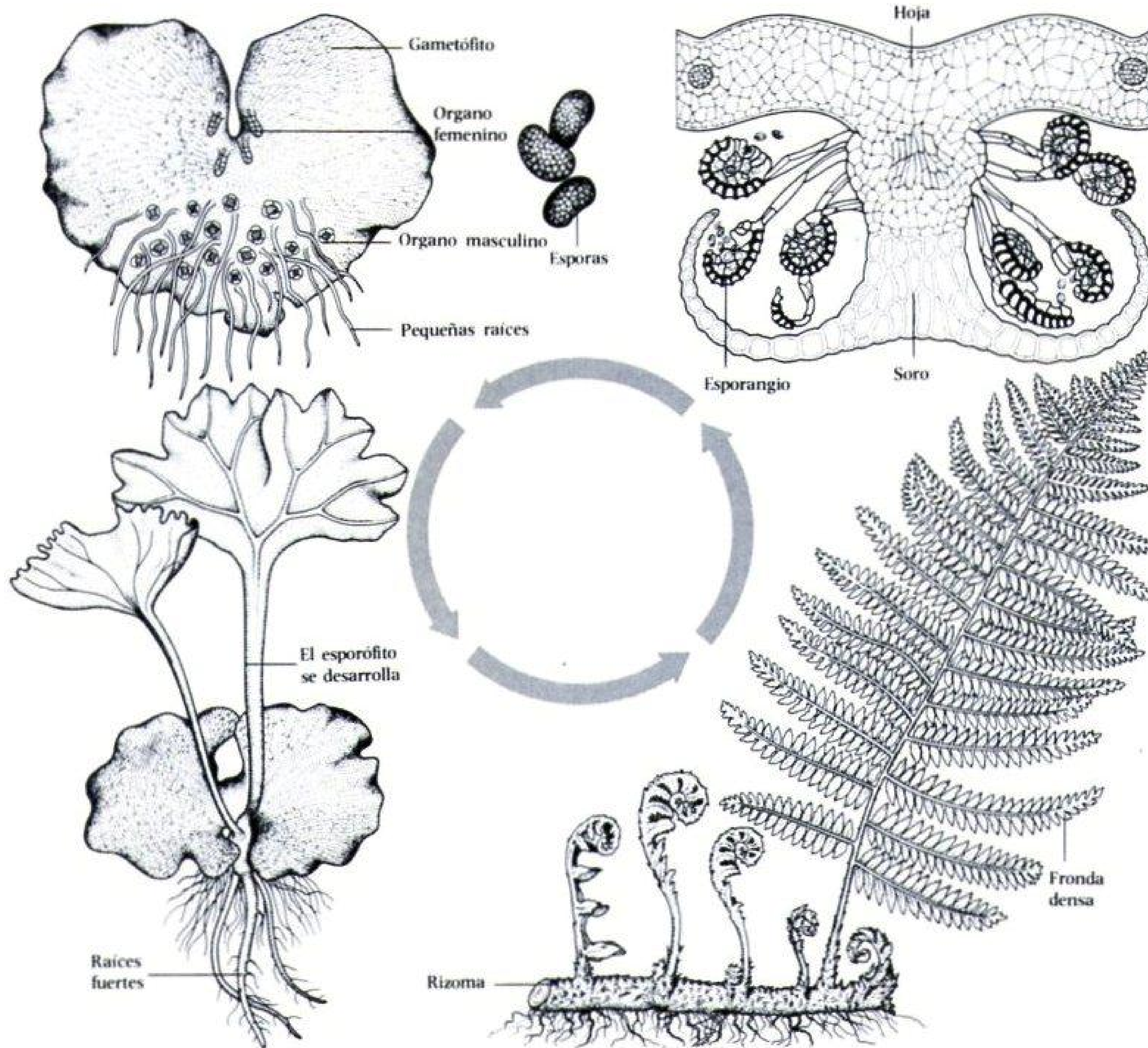
El número de descendientes que puede tener un ser vivo, y la manera de tenerlos, varía notablemente. El elefante tiene una sola cría a la vez; lo mismo ocurre con la mosca tsé-tsé del género *Glossina* y, en el 98 por 100 de los casos, con los seres humanos. En todas estas situaciones, el índice de supervivencia es elevado, pues los padres cuidan del descendiente durante toda su época de desarrollo hasta que alcanza la madurez. Por el contrario, una rana produce varios miles de huevos en cada ciclo de reproducción y la ostra se dice que libera varios millones de huevos al año. En estos casos, la supervivencia depende de la ley de los grandes números; si se producen bastantes, unos pocos podrán superar las adversidades del medio y los peligros que entrañan los predadores.

La seguridad de los grandes números constituye también la divisa de los insectos sociales, pero estos animales han reforzado la protección



El cambio de sexo tiene lugar con frecuencia durante el ciclo vital de la lapa, *Crepidula fornicata*. Los individuos viven amontonados unos sobre otros, los más jóvenes en la parte superior y los más viejos en la inferior. Los jóvenes empiezan siendo machos, pero después sus órganos masculinos degeneran, permaneciendo asexuados durante un tiempo. Si el grupo no contiene hembras, el sexo de la lapa será femenino; si existen ya varias hembras, marculino.





La vida de un helecho contiene fases sexuales y asexuales. El helecho grande y frondoso, frecuente en bosques y en hábitats húmedos, es la culminación de su generación asexual. Partiendo de apretadas espirales que crecen de un rizoma subterráneo, los frondes jóvenes se despliegan, convirtiéndose en hojas con pequeñas estructuras de esporas o soros en la parte inferior. Dentro de cada soro existen esporangios con esporas asexuales, que se liberan y dispersan al madurar. En ambientes húmedos se convierten en pequeñas partículas de tejido,-verdes, planas y con forma de corazón. Estos insignificantes gametófitos constituyen las efímeras etapas sexuales del ciclo vital del helecho. En su parte inferior se hallan los órganos masculino y femenino, y en condiciones húmedas el esperma se desplaza hasta los órganos femeninos para unirse con los huevos. Un huevo fecundado se convierte en un esporófito con hojas simples y raíces fuertes. Es el momento en que el gametófito muere y el esporófito acaba desarrollándose en el ejemplar adulto que resulta tan frecuente en el paisaje.

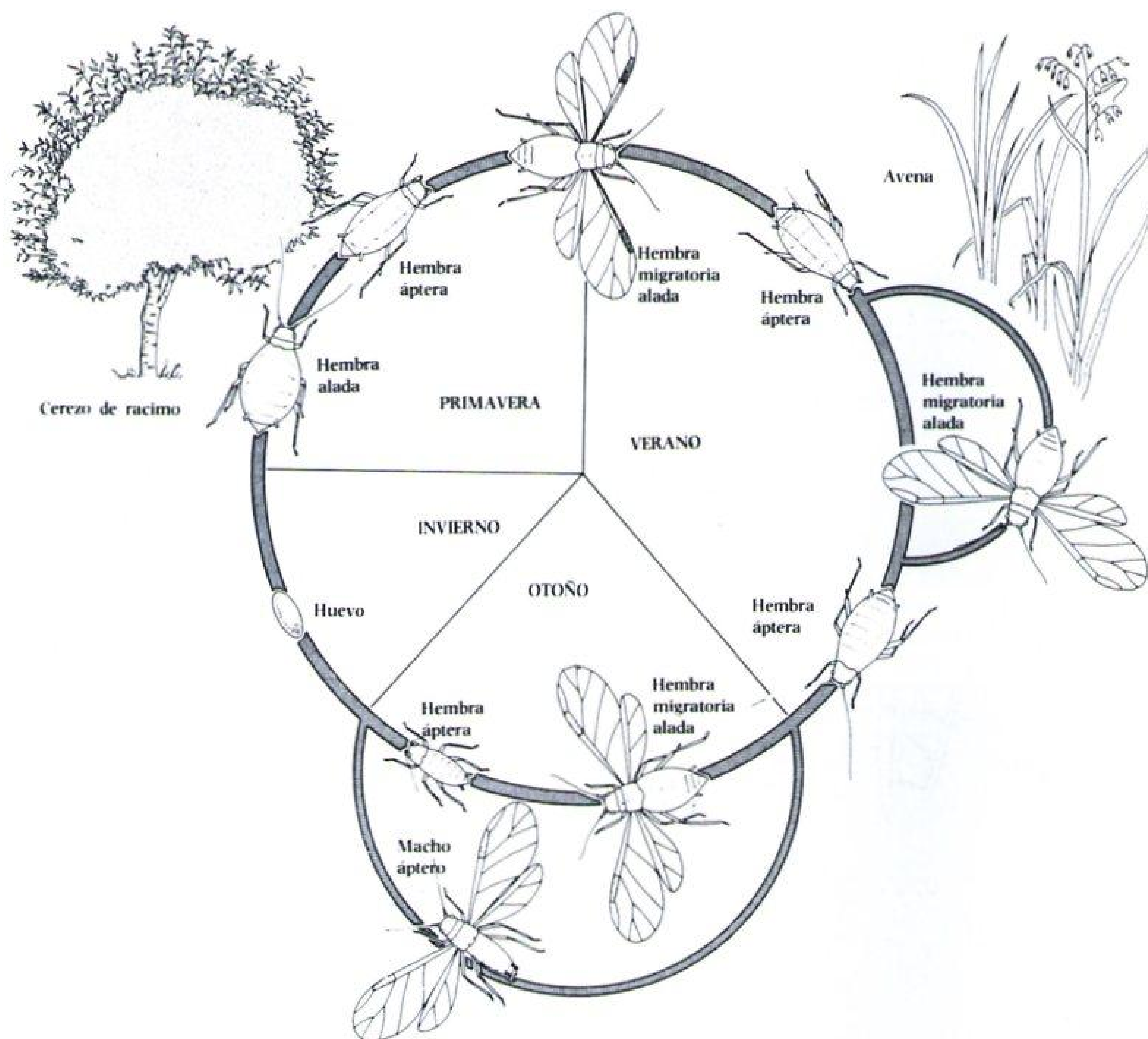
de sus descendientes mediante sistemas de seguridad. En estos insectos las hembras fértiles, las reinas, producen muchas crías, poniendo cantidades enormes de huevos —incluso hasta varios miles al día, en algunas termitas—, cuyo cuidado quedará a cargo de los miembros estériles —las obreras—, que velarán por su supervivencia. Es difícil trazar el ciclo vital de un insecto social como las abejas o las termitas, ya que aunque la hembra sea capaz de producir muchos millones de huevos durante su vida, pocos darán lugar a nuevas reinas vírgenes. La gran mayoría se convierten en obreras y soldados, que no se reproducen. En estos casos es más significativo considerar el ciclo vital de la comunidad como conjunto, que es fundada, crece y crea a posibles reinas que partirán a fundar nuevas colonias. Estas tienden a ser grandes y durar mucho tiempo y crean relativamente pocos descendientes capaces de fundar nuevas colonias.

En la mayoría de las plantas y animales, las semillas o huevos son el medio principal de reproducción, pero ciertas especies utilizan diversos métodos de multiplicación. Algunas avispas parásitas se reproducen mediante un sistema similar al de clones. En el cuerpo del huésped —generalmente la oruga de otro insecto— la avispa hembra deposita un solo huevo que luego se divide varias veces, produciendo hasta 3.000 embriones de avispa idénticos. Aunque este sistema es inusual, puede conferir una ventaja especial si la hembra corre un serio riesgo de ser dañada al intentar poner los huevos en el interior del huésped.

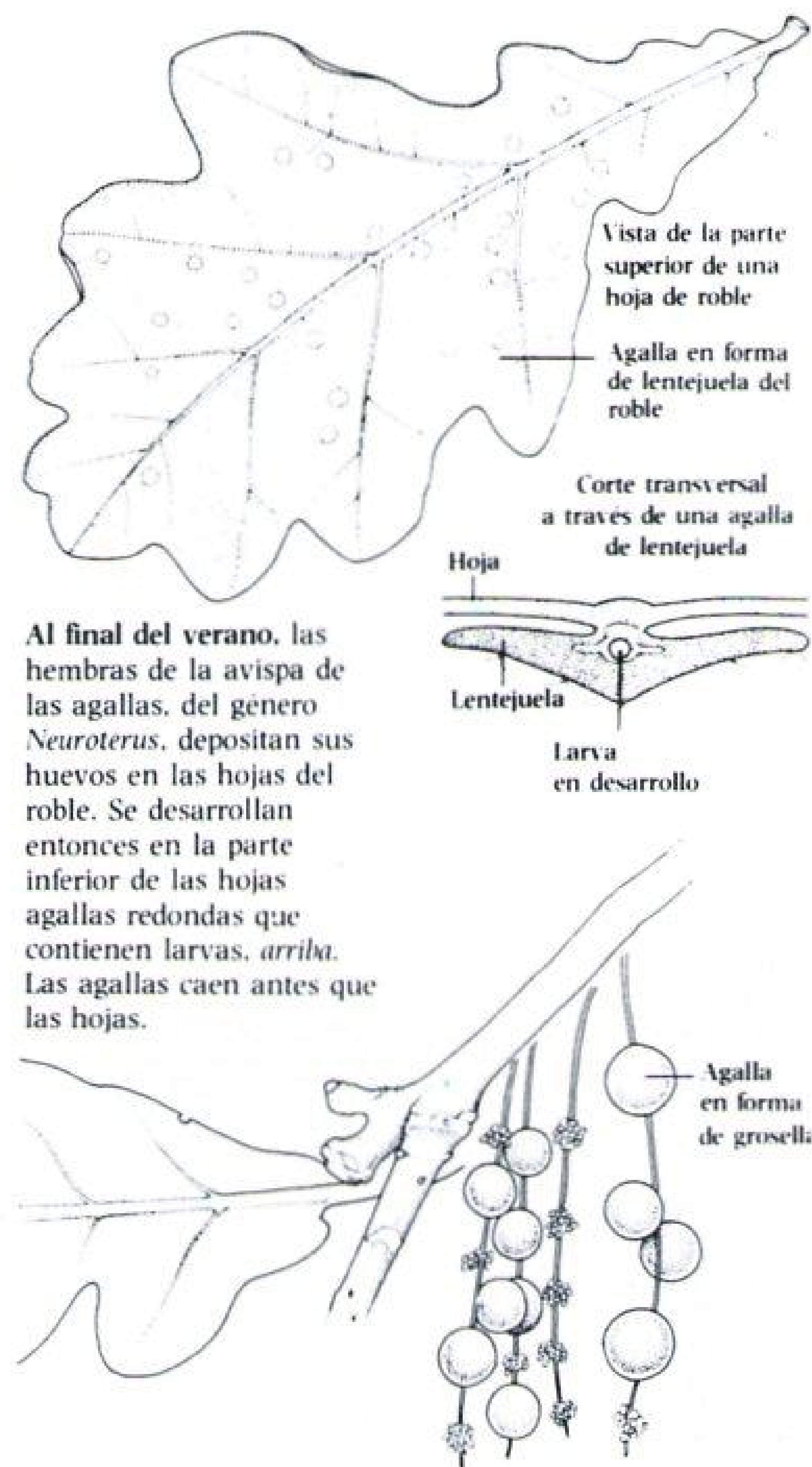
La reproducción por alternación de generaciones queda claramente ilustrada en el caso de los helechos. El bien conocido fronde del helecho es considerado como la generación esporofita, pues lleva en la parte inferior del fronde órganos productores de esporas. Dichas esporas se producen sin intervención del sexo. Una vez liberadas, cada una de ellas es capaz de transformarse en un trozo de tejido, la generación gametofítica, que posee órganos sexuales masculinos y femeninos. Las células masculinas, o «esperma», procedentes de los órganos sexuales masculinos, se filtran, a través de gotas de rocío o lluvia depositadas en el gametofito, hasta los órganos femeninos, fecundando los huevos allí contenidos. Estos, una vez fecundados se transforman en nuevos esporofitos, completando así el ciclo vital y la alternación de generaciones entre el esporofito, producido mediante la intervención del sexo, y el gametofito, producido asexualmente.

Entre los ciclos vitales más complejos y variables de los seres vivos se encuentran los de los áfidos. El ciclo vital del áfido es básicamente anual y contiene varias «generaciones», algunas sexuales y otras asexuales. Las distintas generaciones pueden diferenciarse estructuralmente o en base a su actuación, y ser inducidas por factores tanto genéticos como ambientales. Algunas depositan huevos, pero otras paren a sus crías. Para mayor flexibilidad, algunas especies de áfidos se introducen dentro de un huésped, bien para evitar la concentración de predadores en zonas densamente pobladas de áfidos, bien para explotar un nuevo crecimiento más rico, o por ambas razones.

Los áfidos, hormigas, seres humanos y otras muchas especies viven en grupos o poblaciones y ocupan un hábitat o lugar determinado. Una población está sometida al cambio, aumentando o disminuyendo en ciclos inducidos de modo natural. Estos cambios en el índice de población en los que están implicados los procesos de nacimiento,



En su búsqueda de savia de buena calidad el áfido *Rhopalosiphum padi* desarrolla un ciclo vital que no sólo alterna generaciones sexuales y asexuales, sino también entre el cerezo de racimo y otras plantas como la avena. Los huevos invernan en el cerezo de racimo, madurando en primavera en hembras ápteras. Estas dan origen a hembras ápteras vivas que a su vez producen hembras aladas vivas que emigran a la avena de campos próximos. La superpoblación puede ocasionar que la siguiente generación tenga alas, lo que les permitirá trasladarse a zonas menos pobladas. En otoño nacen hembras y machos alados que vuelan al cerezo de racimo. Las hembras producen ápteras vivas, que se aparean con los machos y depositan huevos en el árbol.



Al final del verano, las hembras de la avispa de las agallas, del género *Neuroterus*, depositan sus huevos en las hojas del roble. Se desarrollan entonces en la parte inferior de las hojas agallas redondas que contienen larvas, *arriba*. Las agallas caen antes que las hojas.

En primavera sólo surgen avispas hembras, que suben al roble, depositando huevos sin fecundar en las yemas. A partir de estos huevos, maduran las larvas estimulando la formación de agallas redondas, *arriba*. Las avispas machos y hembras surgen de estas agallas a mitad del verano y se aparean. Las hembras depositan entonces sus huevos en la parte inferior de las hojas, comenzando de nuevo el ciclo.

muerte, emigración e inmigración ocurren regularmente durante largos períodos y en cualquier lugar.

En un medio ambiente perfecto, con recursos ilimitados, cualquier población animal o vegetal podría crecer al máximo de sus posibilidades. Imaginemos una población de bacterias, organismos consistentes en una sola célula, desarrollándose en una gran extensión de lodo. Cada media hora aproximadamente una célula bacteriana se dividiría para dar origen a dos células. Empezando con una sola célula, sucede que habrá ya dos al cabo de 30 minutos y cuatro al cabo de una hora. Al cabo de dos horas el número de células habrá aumentado hasta 16 y al cabo de tres horas hasta 64. Tras las primeras 24 horas habrá aproximadamente 28×10^{14} (280.000.000.000.000) células. Si dicho crecimiento se expresa en un gráfico con el número de bacterias y tiempo transcurrido, el resultado es una curva exponencial de aumento graduado, y dicha forma se mantiene incluso aunque la escala temporal de la reproducción se vea alterada.

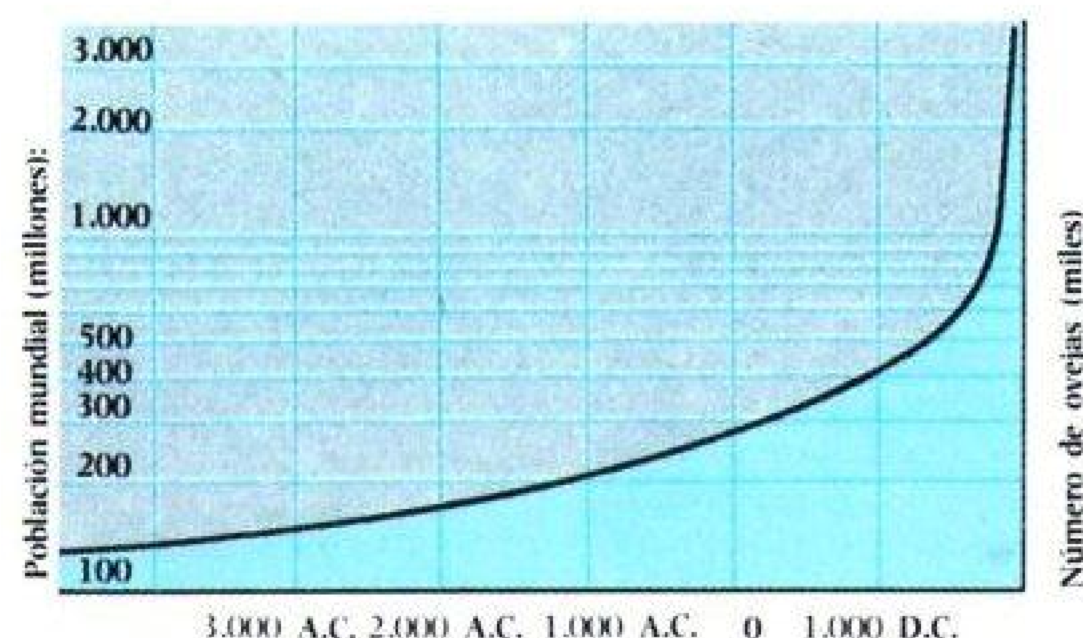
En la práctica, sin embargo, el medio ambiente no es perfecto, pues contiene sólo cantidades limitadas de espacio, alimentos, refugios y otros requerimientos necesarios para la existencia de las especies. Existe, por otra parte, una restricción en el volumen de productos sobrantes que pueden ser aceptados y procesados. Así, mientras que la población tiende a aumentar de forma exponencial, también tienden a aumentar las limitaciones de los recursos naturales, ejerciendo una restricción aún más rígida sobre el libre crecimiento exponencial. En un momento dado se alcanza un punto de equilibrio en el que el índice de crecimiento y el de mortandad son equivalentes, llegándose así a la capacidad que puede soportar el medio ambiente. La introducción de ovejas en Tasmania, a comienzos del siglo XIX, es un buen ejemplo de este tipo de crecimiento. Al principio el número de ovejas se multiplicó de forma exponencial, pero luego fue disminuyendo progresivamente el índice de crecimiento hasta niverlarse en la cantidad de 1,5 millones de ovejas. Si representamos dicho fenómeno obtendremos una curva de crecimiento en forma de S. Dicha curva describe el crecimiento demográfico de muchas especies en medios ambientes limitados, y se obtiene a menudo tanto en laboratorios como en situaciones naturales.

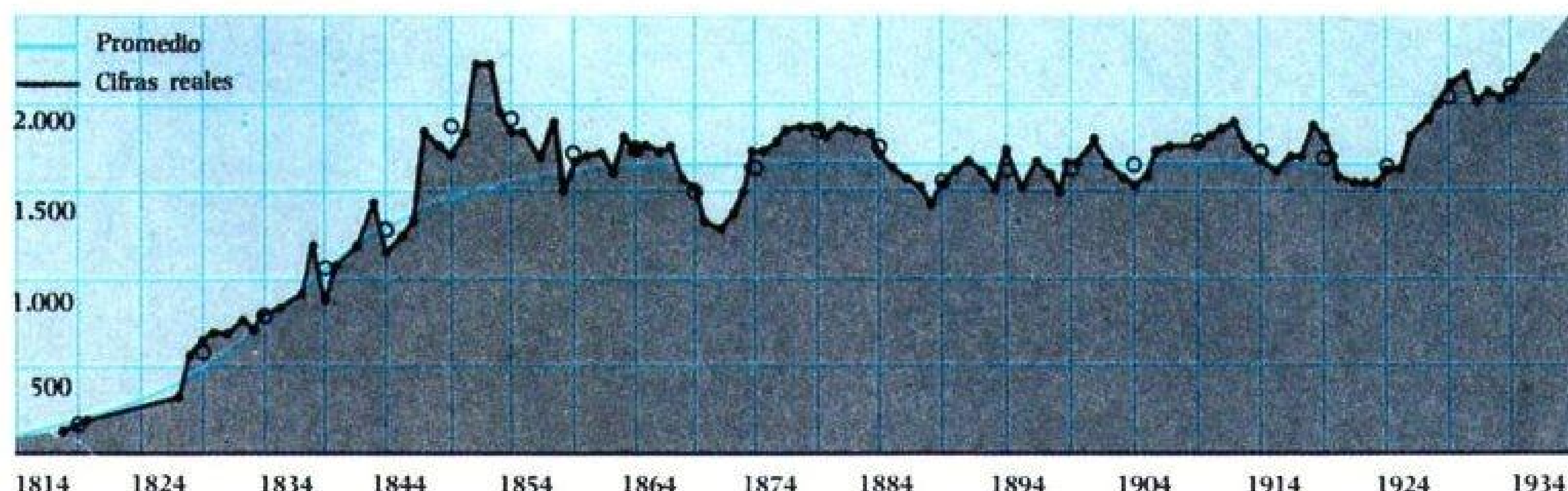
Si este patrón de crecimiento se extendiera podría esperarse que la población natural del mundo se mantuviese constante. Algunas especies poseen, de hecho, un índice fijo de crecimiento, pero la población humana continúa aumentando de forma exponencial, mientras que las de otras especies pasan por distintos ciclos de expansión y contracción.

La influencia del comportamiento cíclico en los índices de población ha sido estudiada exhaustivamente en algunas poblaciones canadienses de linces y liebres americanas, que tienen ambos ciclos de unos diez años contando a partir del punto más alto hasta el siguiente en su índice de población. El ciclo del lince se explica fácilmente. El lince se alimenta en principio de la liebre americana, que es herbívora. Mientras que ésta abunda, el lince no tiene problemas de alimentación y puede reproducirse casi de forma exponencial. Cuando escasean las liebres, los linces tienen problemas para encontrar presa y, por lo tanto, muchos mueren. Dada su dependencia de la liebre, los cambios de población del lince se ven condicionados por los cambios de población de la liebre.

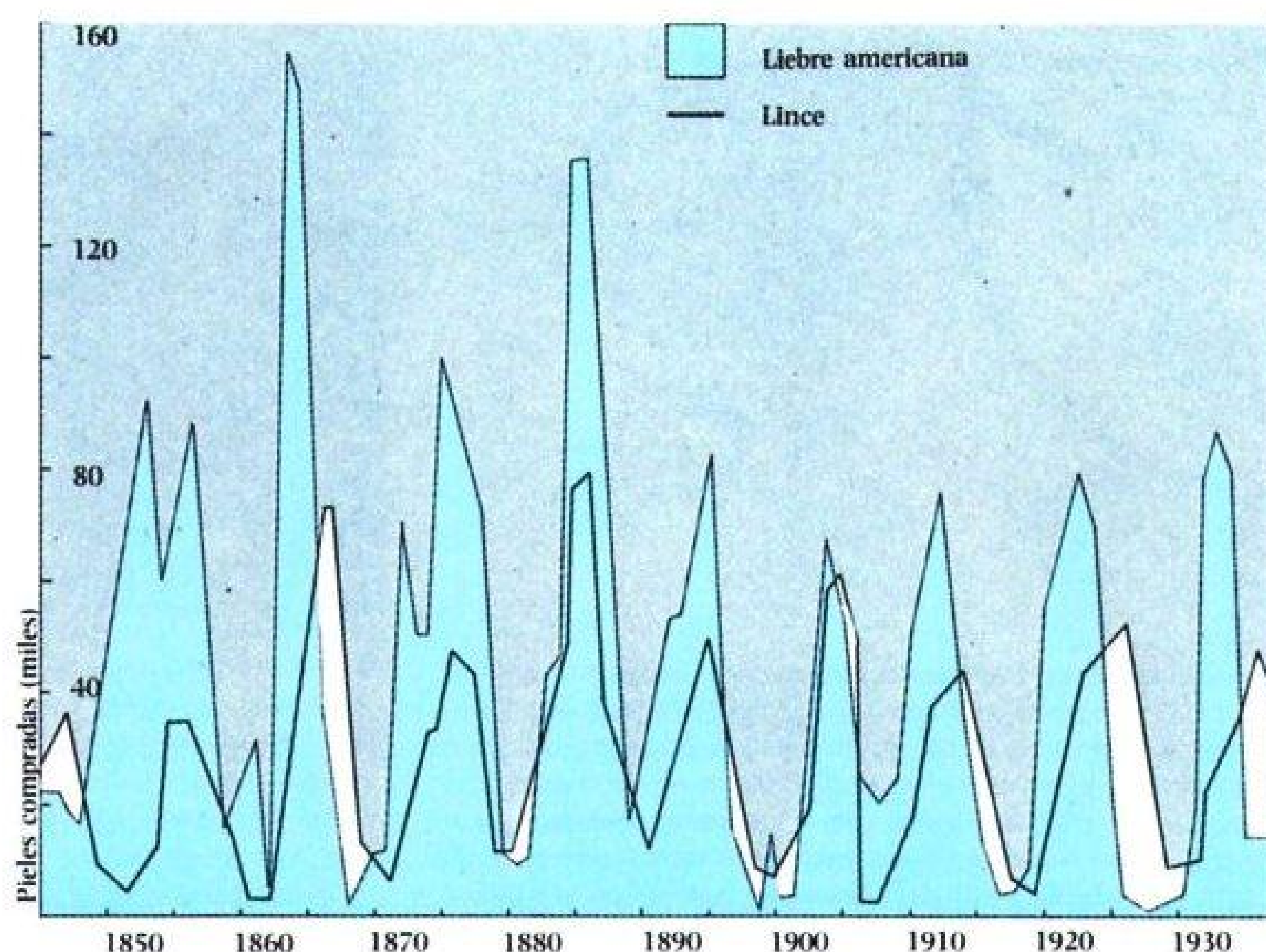
Para otros predadores con ciclos de población pronunciados puede

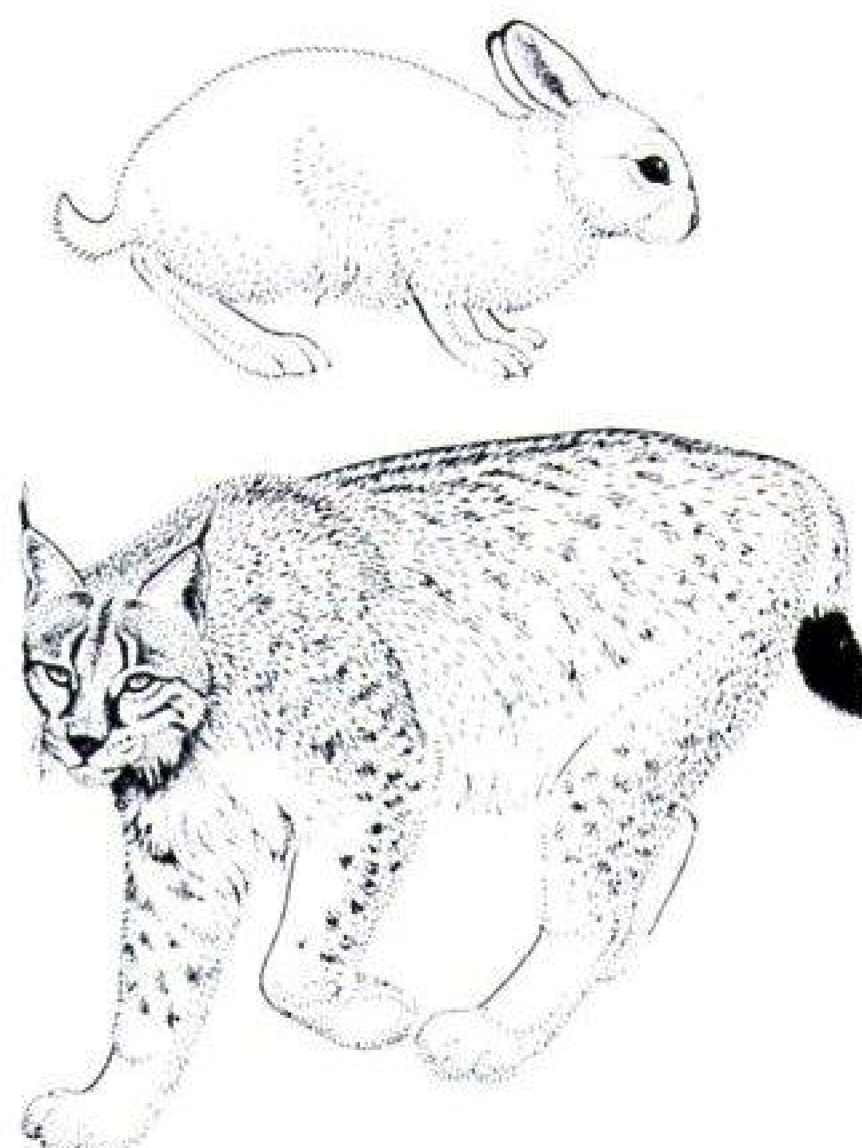
Una población de animales o plantas alcanzaría el índice máximo de crecimiento en un medio ambiente con abundancia de comida y espacio, y sin predadores ni enfermedades. Los seres humanos no son una excepción, y en muchos países el índice de aumento de población llega al máximo. En algunos países muy desarrollados el aumento es mínimo debido a efectivas medidas de control. El patrón de población global, *abajo*, muestra un constante aumento numérico, así como en el índice de crecimiento. La población mundial se ha duplicado desde 1940. En poblaciones naturales, el medio ambiente ejerce su propio control, a menos que el hombre imponga sus restricciones, con escasez de comida y espacio, y propagación de enfermedades. Los avances tecnológicos, las mejoras en la agricultura, los adelantos médicos y la falta de atención a las leyes naturales han evitado a la raza humana muchos controles naturales de población. Tras la introducción de ovejas en Tasmania, su población aumentó rápidamente hasta exceder la capacidad portante del país. La cifra descendió entonces de 2 a 1,5 millones. Tal exceso es frecuente en las poblaciones naturales y se da como resultado del retraso entre el índice de aumento de la población y el ritmo al que entran en vigor controles tales como la carencia de alimentos. También debe tenerse en cuenta que las mejoras en la agricultura han elevado de nuevo las cifras.





La población del lince, *Felis canadensis*, y de la liebre americana, *Lepus americanus*, alcanza el índice máximo cada diez años. Este ciclo regular se manifiesta en las partidas de pieles compradas a los cazadores por la compañía de la Bahía de Hudson, en Canadá. Estas demuestran que el auge del lince tiene lugar uno o dos años más tarde que el de su presa, la liebre. El número de linces aumenta cuando las liebres abundan, pero disminuye una vez que las liebres han sido devoradas. El ciclo de población de la liebre parece obedecer a cambios climáticos y a la disponibilidad de alimento vegetal.





aplicarse la misma regla. En regiones de la tundra, la población del zorro ártico tiene un ciclo de cuatro años vinculado a las fluctuaciones de su principal presa: el ratón campestre. Más hacia el sur, en los márgenes de los bosques, la marta y el zorro rojo tienen también ciclos de cuatro años sincronizados con el cambio de población de los ratones, de los que se alimentan. Sin embargo, en otras zonas de Canadá, la marta y el zorro rojo se alimentan de la liebre americana, por lo que tienen ciclos de diez años en lugar de cuatro.

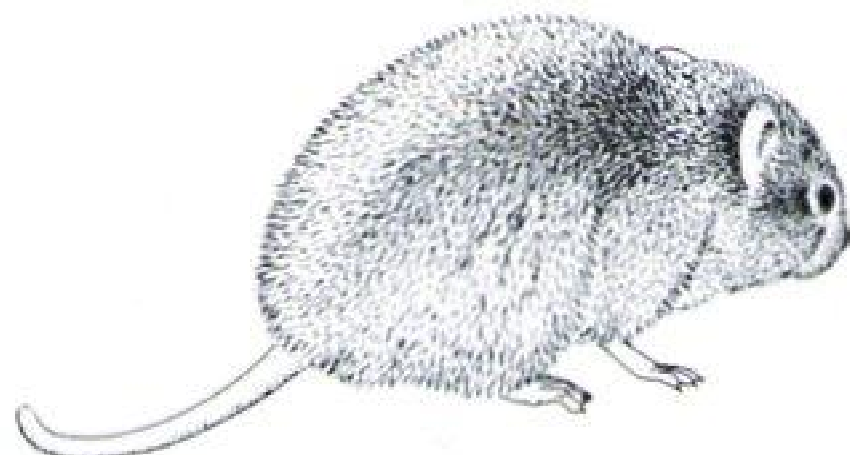
Existen buenas razones para defender la teoría de que las poblaciones de predadores son controladas por la abundancia de presas. Pero, ¿qué controla los ciclos de estas últimas? Se han barajado multitud de respuestas que expliquen los ciclos de diez y cuatro años en los herbívoros. Entre las primeras razones apuntadas figuraba un posible vínculo entre los ciclos de población y los ciclos de las manchas solares, pero el hecho de que los ciclos de población no se den simultáneamente a lo largo de grandes extensiones de tierra, y muestren notables variaciones locales, descarta la posible influencia climática global.

Otra sugerencia es que los predadores son los que dirigen el cambio; es decir, que la población predadora aumenta a medida que aumenta su comida, pero la demanda de alimentos sobrepasa, en un momento dado, el índice de aumento de la población de sus presas, ocasionando el colapso en dicha población, debido al exceso de explotación por parte de los predadores. El argumento más sólido contra esta teoría es que el declive de la población de las presas debería ser entonces brusco y no progresivo. Pese a esta objeción, algunas poblaciones de insectos parecen obedecer a estas reglas de aumento y disminución de población.

También se ha propuesto como explicación de los ciclos de población la influencia de las epidemias y los cambios en la fisiología de los individuos en zonas densamente pobladas. Ambos fenómenos ocurren, pero producirían disminuciones en la población más rápidas de las que realmente tienen lugar, por lo que pueden ser considerados más como síntomas que como causas del cambio. Otra teoría que parece ajustarse más a los hechos es la de la abundancia de alimentos vegetales, de los que se nutren liebres y ratones. Cuando los ciclos de población alcanzan su punto más alto, tanto las liebres como los pequeños roedores se comportan como si estuviesen a la búsqueda de alimentos. Esto se hace aún más evidente entre los ratones de campo que, en los períodos de mayor aumento de población, se embarcan en migraciones legendarias en busca de nuevos recursos alimenticios. Si la comida escasea, los ejemplares jóvenes son los primeros en verse afectados, de manera que el descenso de población comienza con la mortandad juvenil seguida por la muerte de los adultos y por una reducción del número de nacimientos producidos, explicándose así que el descenso dure varios años.

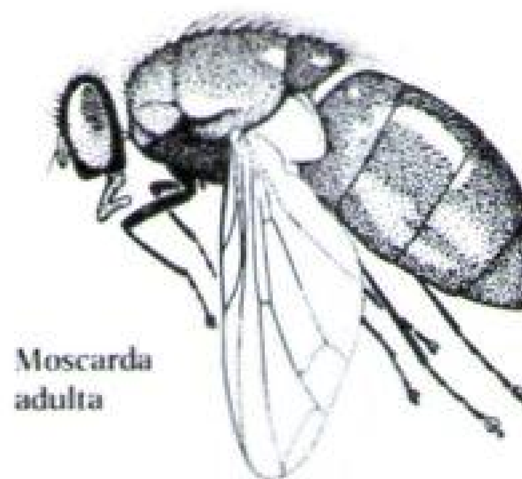
El aumento y disminución de las poblaciones forma parte de la compleja red de interacciones que tienen lugar en un medio ambiente. Así, los ciclos de población de las liebres y roedores pueden regular los ciclos de sus predadores, afectando también a otras especies de la misma zona. Varias especies del urogallo, por ejemplo, presentan un ciclo de aproximadamente diez años en Canadá. El lagópodo coliblanco tiene un ciclo de diez años en Canadá y de cuatro en Noruega, y estos ciclos están sincronizados con los de las liebres y roedores de dichas

Al aumentar la densidad de población del campañol comienzan las luchas, pero los individuos agresivos, aunque pueden mantenerse vivos, no se reproducen con rapidez y tienden a enfermar. La población decae debido al escaso índice de nacimiento y al elevado índice de mortandad. Este ciclo de aumento y descenso de población tiene lugar aproximadamente cada cuatro años. Cuando la población ha decaído, individuos menos agresivos, pero de reproducción más rápida, provocan de nuevo el aumento de la población.

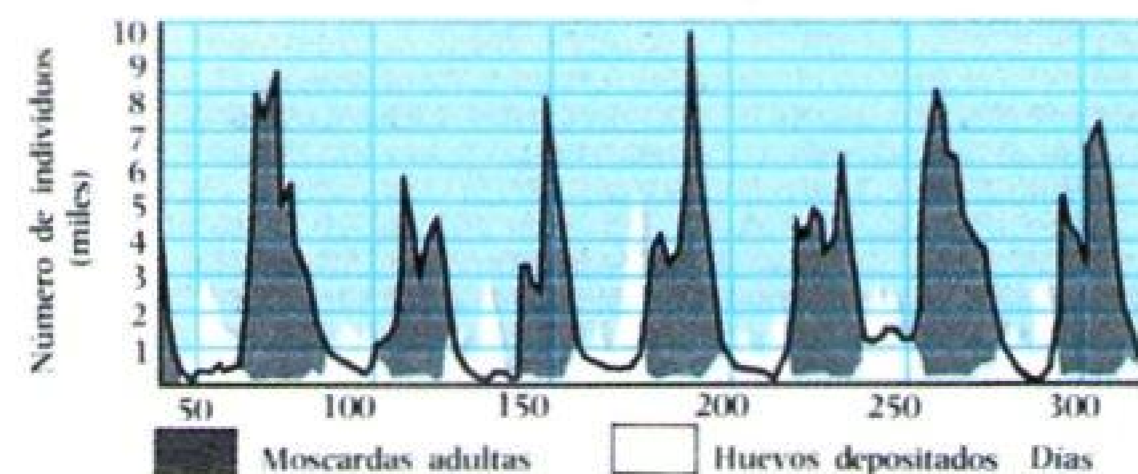




Campañol



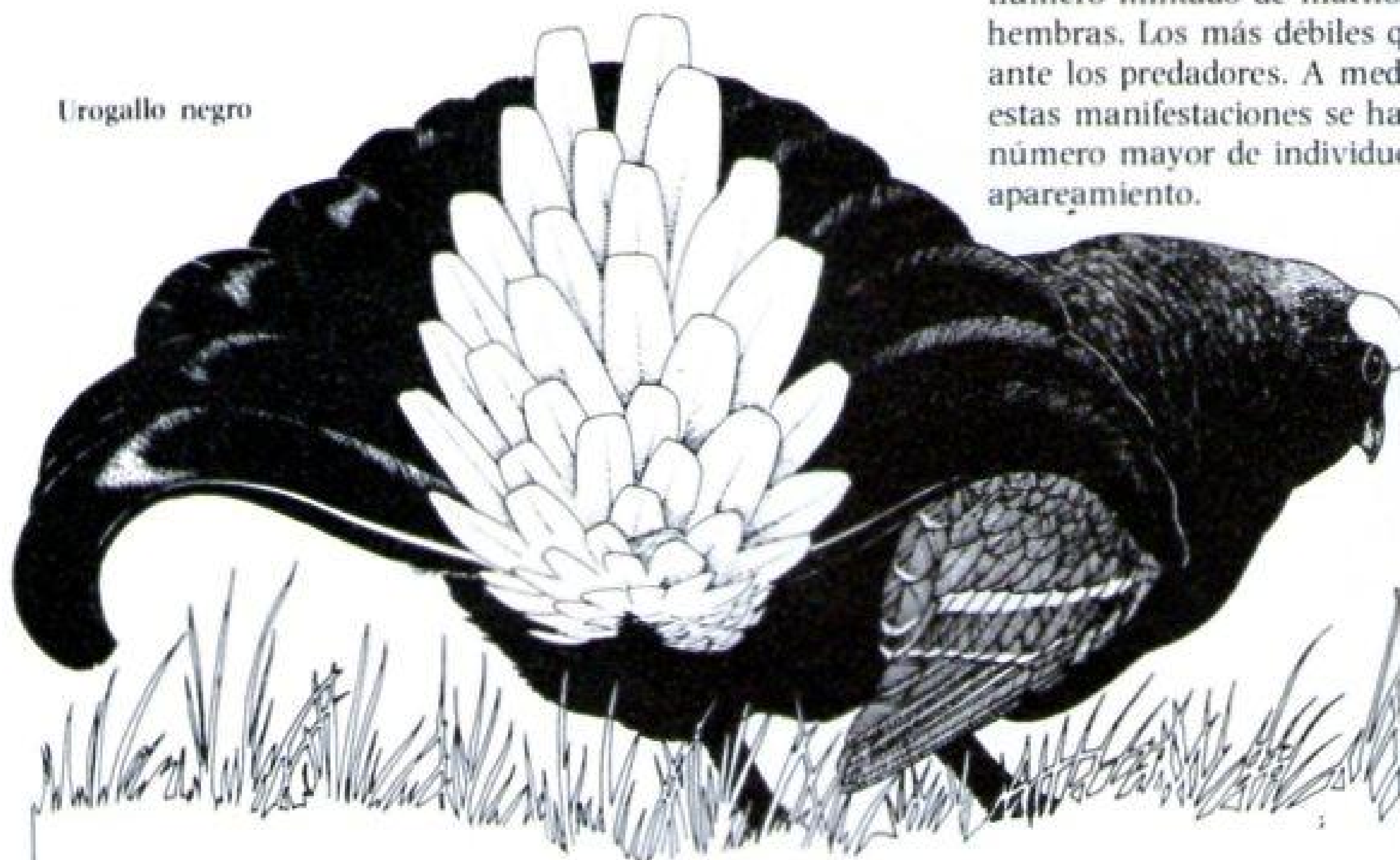
Moscarda adulta

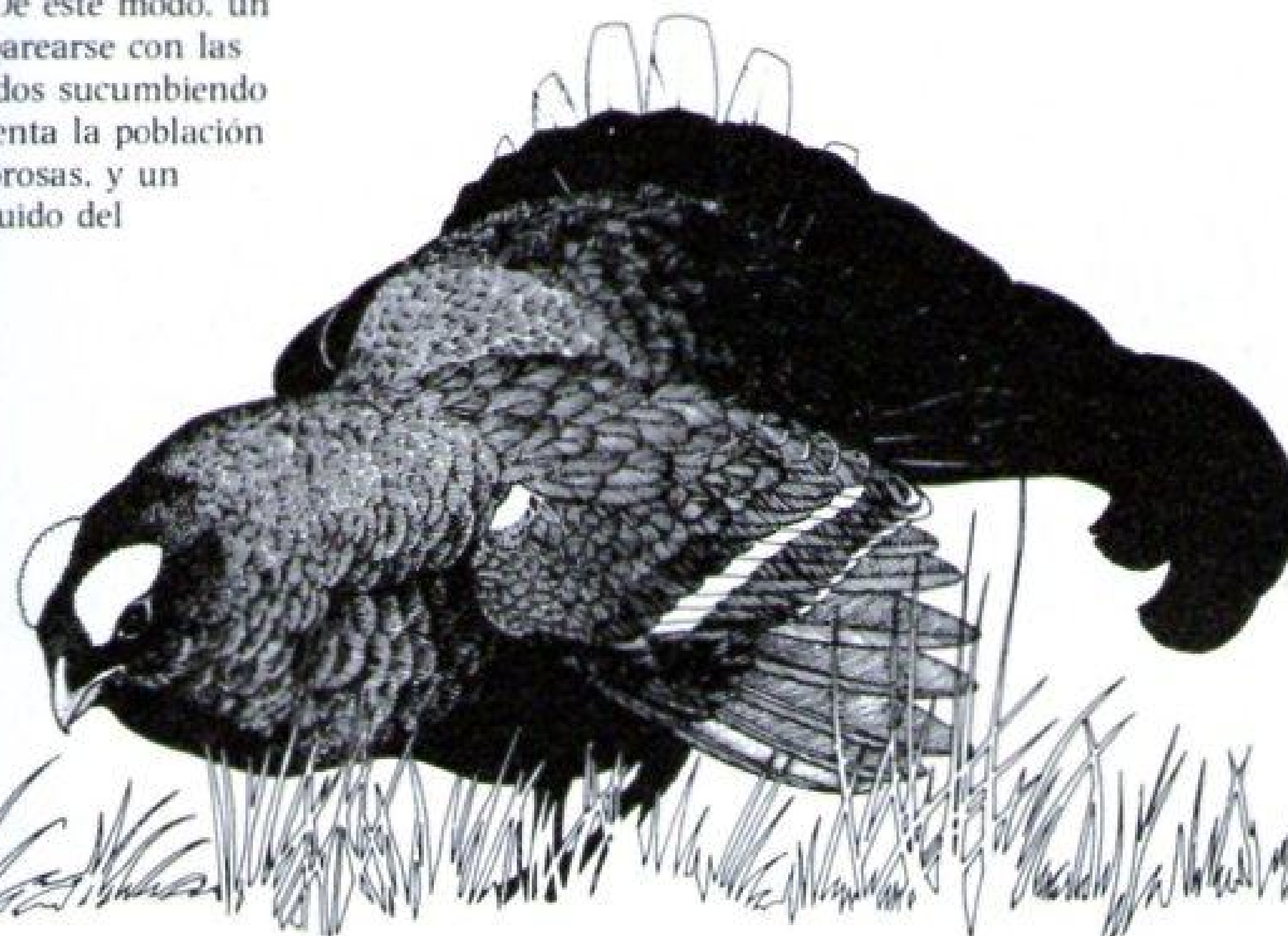


El ecólogo A.J. Nicholson desarrolló colonias de la lucilia, *Lucilia cuprina*, en una jaula con comida limitada pero renovada, contando cada día el número de moscardas y de huevos. Las moscardas manifestaron un ciclo regular en número, demostrando que el límite se debía a la cantidad de alimento disponible para las larvas. En densidades bajas la comida era abundante y se depositaron muchos huevos. En densidades altas se depositaron pocos huevos en la comida porque las hembras competían, estorbándose unas a otras. El retraso de dos semanas entre la puesta de estos huevos y la aparición de los adultos gobierna el ciclo de población de la moscarda.

Al comienzo de la época de reproducción, los machos del urogallo negro se reúnen en un cierto lugar del páramo, haciendo alarde de pavoneos agresivos. De este modo, un número limitado de machos consigue aparearse con las hembras. Los más débiles quedan excluidos sucumbiendo ante los predadores. A medida que aumenta la población estas manifestaciones se hacen más vigorosas, y un número mayor de individuos queda excluido del apareamiento.

Urogallo negro





zonas. Dado que la liebre y el urogallo tienen diferentes dietas, la disminución de una de las fuentes alimenticias no debería afectar a la otra, pero el urogallo constituye para los predadores de Canadá —tales como el zorro rojo y el halcón— la presa favorita a falta de la liebre americana, mientras que en Noruega el urogallo sustituye al ratón de campo para el zorro ártico y el búho nival. El descenso de población de liebres y roedores obliga así a sus predadores a sustituirlos por otra presa, condicionando por consiguiente los ciclos del urogallo.

Si el volumen de la población es controlado por la influencia de otras especies que actúan en el mismo medio, entonces, siguiendo la teoría biótica, los ciclos se producen porque existe siempre un intervalo de tiempo entre el desarrollo de un regulador y su efecto real. Es como tratar de controlar la temperatura de un horno con un termostato de acción lenta. La temperatura del horno aumentará y disminuirá de un modo cíclico. Cuanto más rápidamente reaccione el termostato, menores serán las fluctuaciones de temperatura. Muchas de las teorías iniciales de la escuela biótica fueron formuladas por entomólogos que estudiaron las posibilidades de controlar epidemias de insectos mediante la utilización de otros insectos, y este concepto de control biológico se utiliza hoy para combatir epidemias en todo el mundo.

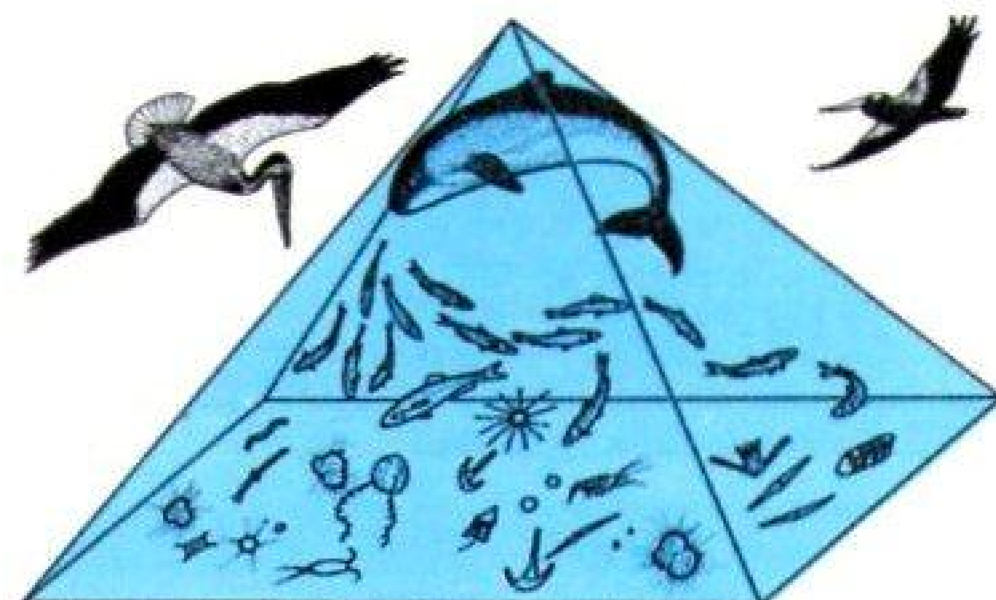
Los oponentes de este tipo de argumentación sugieren que los animales regulan ellos mismos el volumen de su población de manera que nunca sobrepase la capacidad de su hábitat. Se han propuesto algunos mecanismos como explicaciones de esta autorregulación. Algunos pájaros, mamíferos e incluso insectos poseen territorios, zonas de su hábitat que defienden frente a los intrusos. Así pues, los dueños de estos territorios se hallan en una situación ventajosa, ya que se les facilita la búsqueda de una pareja, y aseguran un espacio en el hábitat para una familia. Sólo un número limitado de territorios tienen cabida en el hábitat, y esto restringe automáticamente la cantidad de apareamientos productivos. Los individuos menos afortunados que no consigan crear una familia morirán. En cualquier hábitat la cantidad de comida varía de un año a otro, por lo que el pájaro que posea un territorio tendrá que considerar la calidad del mismo antes de decidir el tamaño que debe tener. Cuanto más pobres sean las condiciones, mayores tendrán que ser los territorios, y menos parejas reproductoras albergará el hábitat. En este caso, el volumen de la población no es autorregulado, sino gobernado por la calidad del hábitat, pero la existencia de territorios asegura que los niveles de población no sobrepasen los recursos del hábitat.

En muchas especies el transcurso regular de las estaciones crea un ciclo regular del volumen de la población. Los áfidos, por ejemplo, aumentan en número durante todos los veranos antes del otoño y de la aparición del invierno. En situaciones estacionales menos diferenciadas, el clima puede producir importantes cambios en la población, pero éstos son irregulares.

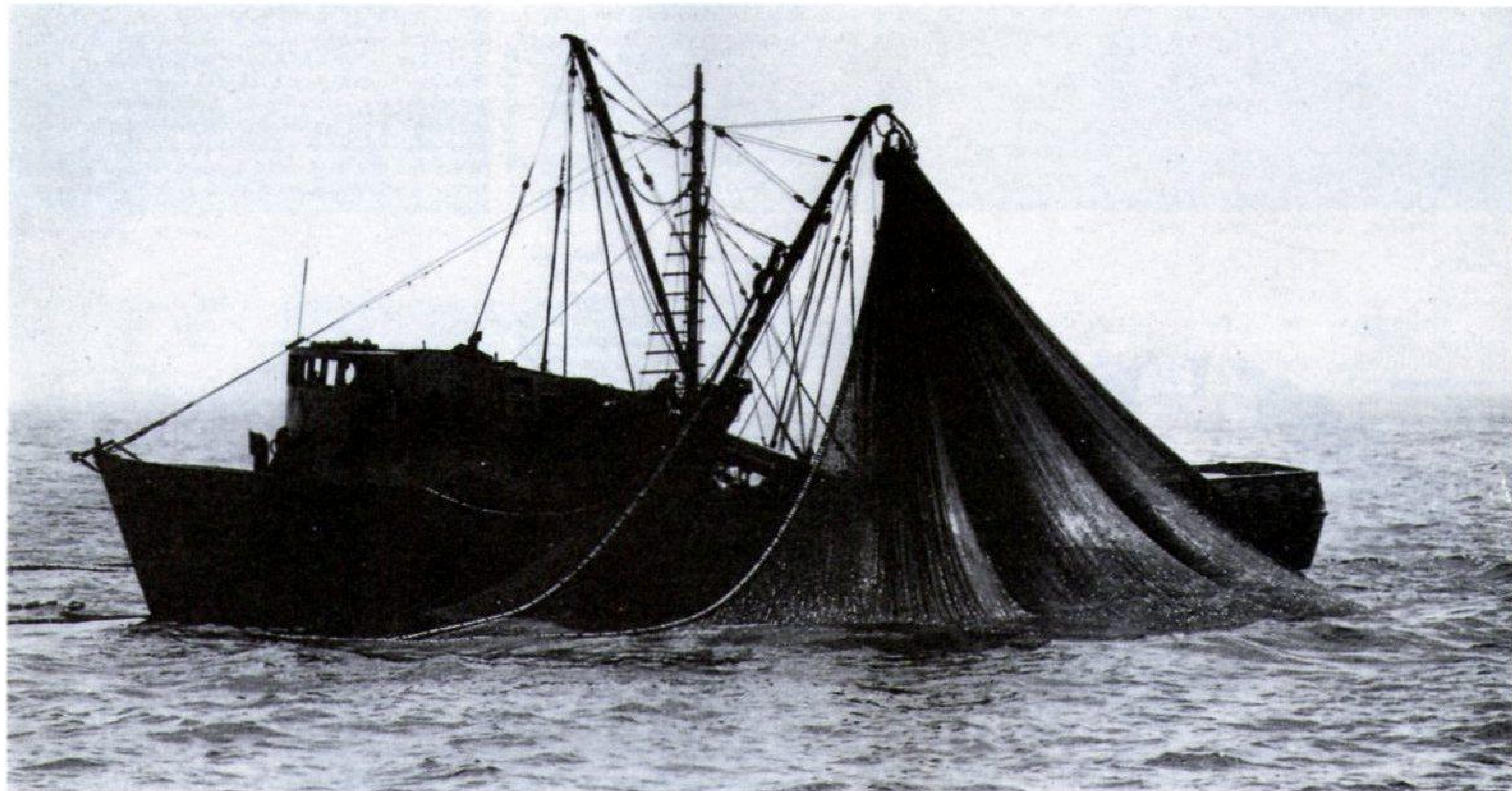
Un impresionante efecto climático puede apreciarse en la costa oeste de Sudamérica. La fría corriente de Humboldt, altamente nutritiva, va subiendo desde el sur, facilitando las condiciones precisas para el desarrollo de inmensas poblaciones de plancton y boquerones cerca de la costa de Perú. Grandes bandadas de pájaros, y bancos de atún, ballenas y marsopas se alimentan en dichas aguas, y el pueblo peruano

La catástrofe se apodera de la vida marina y de la industria pesquera cuando «El Niño» se aproxima a las costas de Perú. De vez en cuando, en la época de Navidad, fuertes vientos del Norte sustituyen las frías corrientes de Humboldt, procedentes del Antártico y altamente nutritivas, por aguas cálidas de escaso valor nutritivo procedentes del Ecuador. Esta corriente cálida produce un rápido aumento de la temperatura del agua, ocasionando la muerte del plancton y de los boquerones, y, por tanto, de los animales que de ellos dependen. Los boquerones constituyen la fuente principal de los pescadores peruanos, proporcionando también alimento a muchos pájaros, cuyas heces forman depósitos de guano utilizados en todo el mundo como fertilizantes.





Los boquerones son la base de la cadena piramidal de alimentos que se desarrolla en las frías aguas de la corriente de Humboldt. Se alimentan de plancton, y sirven de alimento a cormoranes, pelícanos, ballenas y marsopas. «El Niño» aniquila el plancton y los boquerones, y mata también a muchos animales que dependen de ellos.



recoge boquerones para alimento y aceite de pescado, utilizando los excrementos de los pájaros como fertilizante. A intervalos irregulares, los vientos de la zona cambian y las aguas cálidas tropicales de menor valor nutritivo desplazan la corriente de Humboldt, causando efectos catastróficos en la vida marina, incluida la de los boquerones. Con la muerte de éstos llega la muerte o la emigración de todas las especies que de ellos se alimentan. Los ciclos de población de los boquerones y los pelícanos están de este modo vinculados, pero muestran patrones de cambio irregulares debido a las variaciones climáticas. La notable variabilidad del tiempo significa que los patrones regulares de los cambios de población no están ligados al clima. Dichos patrones sólo pueden ser el resultado de procesos dependientes de la densidad —factores que ejercen un efecto cada vez más perjudicial en la población a medida que ésta aumenta— y retrasos entre causa y efecto. El clima actúa independientemente de la densidad.

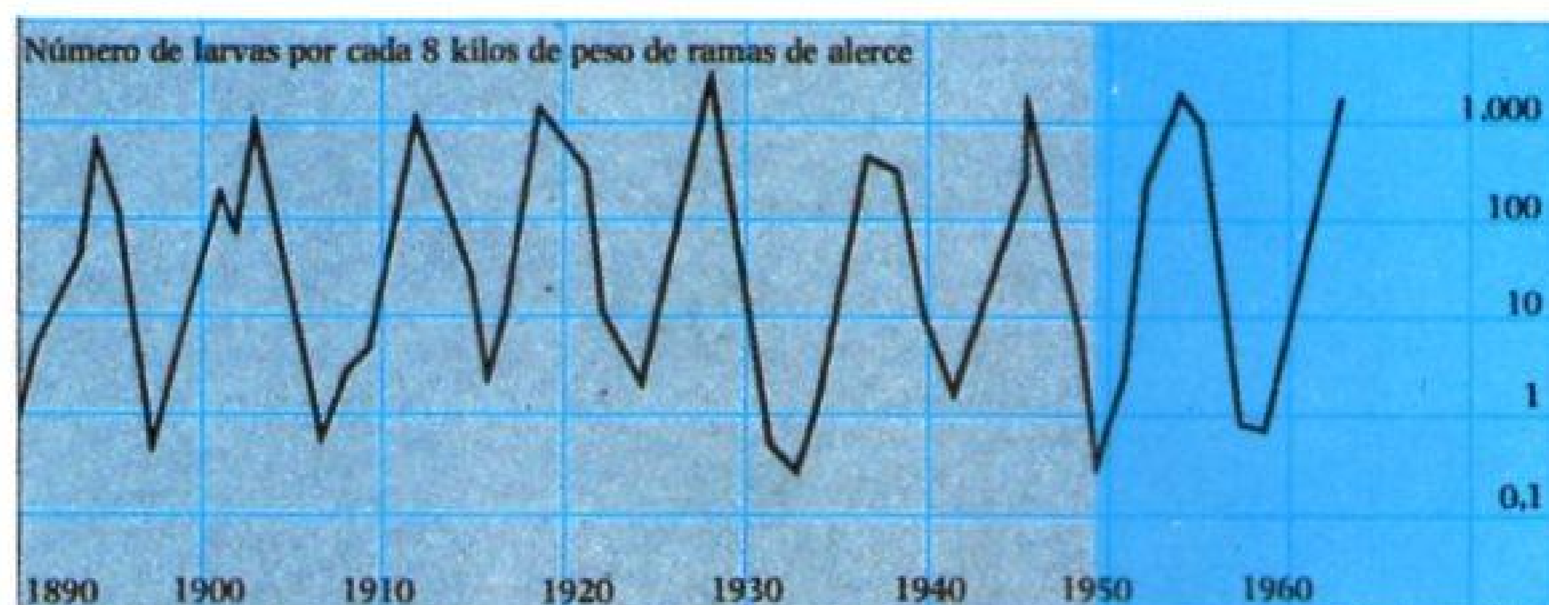
Utilizando modelos en una computadora, casi todos los patrones de los cambios de población pueden imitarse, y muchos ecólogos modernos consideran que tanto las influencias climáticas como las biológicas son importantes en la dinámica de la población, pero que sólo los factores biológicos, dependientes de la densidad, pueden actuar generando ciclos. Las orugas de la polilla de la yema del alerce *(Zeiraphera griseana)* se alimentan de las agujas de los alerces, y en algunas zonas de los Alpes europeos tienen un ciclo de población regular de siete años. Un análisis detallado y a largo plazo de esta especie ha revelado una compleja interrelación de mecanismos que, combinados, producen los ciclos de población.

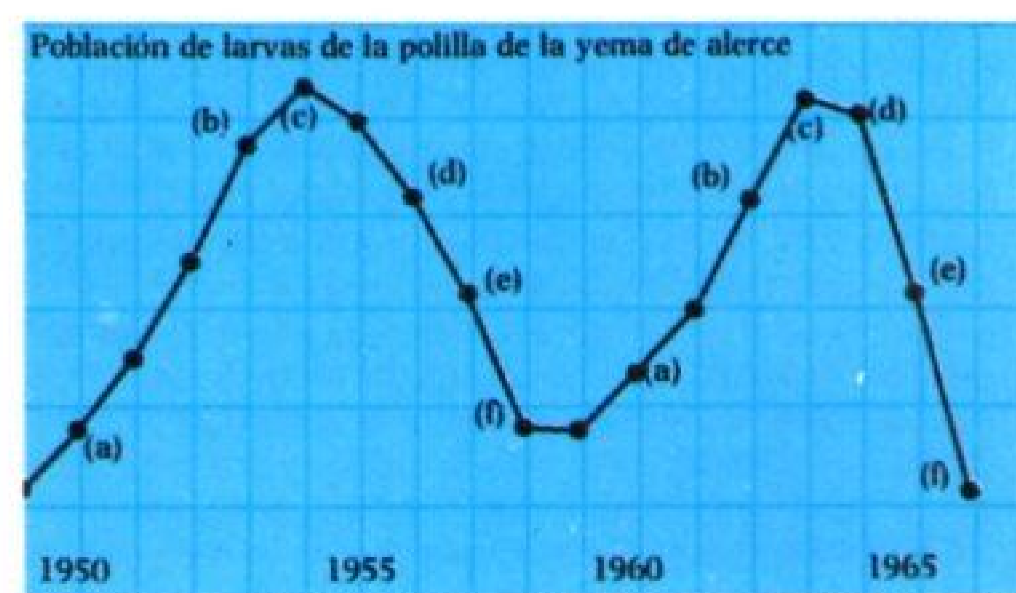
El clima desempeña un importante papel en la determinación de la zona donde tendrán lugar los ciclos de dichas orugas, pero no ejerce influencia sobre el patrón mismo del cambio. A menos que hayan soportado como mínimo 120 días de frío, los huevos invernantes de la polilla de la yema del alerce no maduran. Esta táctica dilatoria, o intervalo, que implica un período de quietud en el ciclo vital del animal y es común a muchos invertebrados, suele ser interrumpida por un factor externo. El período frío adecuado sólo se da en determinadas altitudes alpinas. A grandes altitudes, el frío dura demasiado tiempo, por lo que los huevos no pueden desarrollarse, mientras que en altitudes menores los huevos maduran demasiado pronto, antes de que las agujas del alerce hayan salido de los brotes.

En enfermedades que afectan al hombre y a otros animales, los patrones cíclicos pueden darse a dos niveles diferentes. Los organismos que causan las enfermedades pueden aguantar los cambios cíclicos de población en el interior de su huésped de modo similar a las especies independientes que aumentan y disminuyen a un ritmo cíclico en sus propios hábitats. La permanencia de una enfermedad en los individuos de la población a la que ataca puede también manifestar patrones cíclicos. Estos patrones son especialmente significativos para el estudio de las epidemias y pueden resultarnos útiles a todos si permiten que los científicos organicen estrategias preventivas para el futuro.

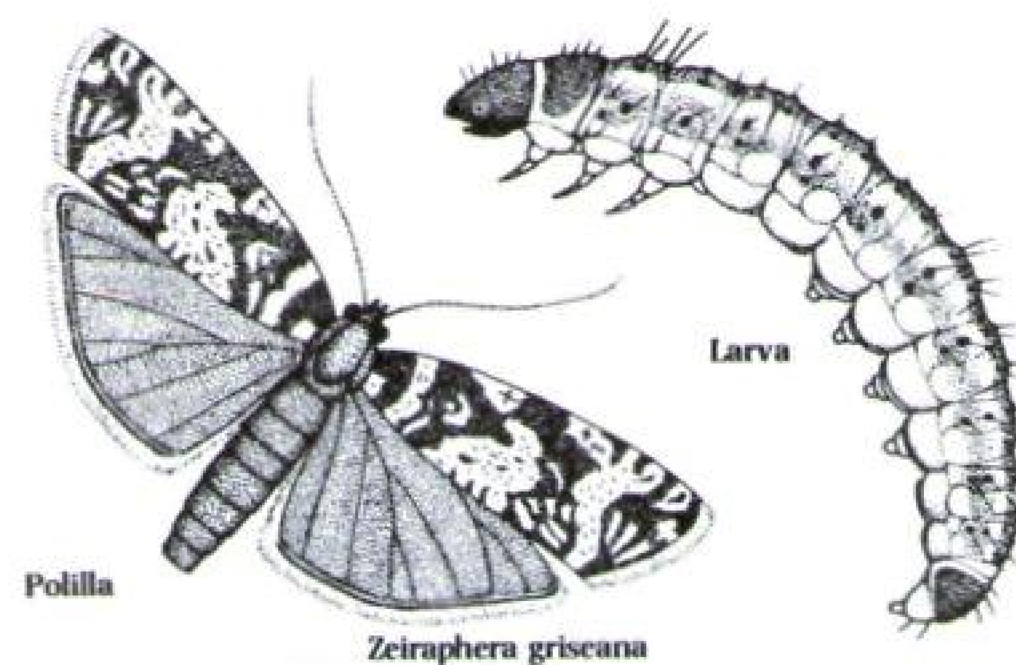
Los ciclos vitales de los organismos causantes de enfermedades son a menudo complejos y contienen fases específicas en las que dichos organismos se trasladan de un huésped a otro. Esto puede implicar a otra especie —un vector— o contagiar directamente al nuevo huésped.

La defoliación de los alerces se produce regularmente en algunas zonas de Suiza, como el valle de Engadin, *abajo*. Las larvas de la polilla de la yema del alerce, *Zeiraphera griseana*, se alimentan de las agujas jóvenes del alerce, causando la mayor parte de los daños cuando la población alcanza su auge de cada 7 a 10 años.









Un virus, las avispas parásitas, la competencia entre individuos y la ausencia de alimento, contribuyen al ciclo completo de la población de la polilla de la yema del alerce, *arriba*. Existen dos razas; la raza fuerte, que es vulnerable al virus, domina a la raza débil que transporta el virus, pero es a menudo parasitada por las avispas. La población (a) crece a medida que la raza fuerte prolifera, y el daño en los árboles es apreciable. Con densidades altas de población (b), las larvas compiten por las agujas de los alerces. El crecimiento de la población se hace más lento (c), al tiempo que a las hembras de las mariposas les resulta más difícil conseguir agujas en las que depositar sus huevos, y el virus comienza a extenderse. La población decrece (d) cuando el virus mata a la raza fuerte, dando paso al predominio de la raza débil. La población decae aún más (e) a medida que las avispas parásitas ocasionan la muerte de un gran número de individuos de la raza débil. Cuando la población alcanza su densidad más baja (f), el virus queda latente en la raza débil y permite proliferar a la raza fuerte una vez más.

El paso a través de un vector exige una sincronización muy exacta entre el comportamiento del organismo virulento y el de la especie vectora. En los trópicos, los insectos chupadores de sangre, tales como mosquitos, simúlidos y tábanos, actúan a menudo como transmisores de enfermedades, y durante cada período de 24 horas tienden a alimentarse en distintos momentos del día. Los organismos causantes de la infección, transmitidos por estos vectores, tienen unos patrones de comportamiento que garantizan que los componentes infecciosos que serán transmitidos permanezcan en los vasos capilares del animal afectado, de manera que facilite la succión de dicho elemento cuando el trasmisor se alimenta. La loaiasis, por ejemplo, es una enfermedad de Africa, causada por la lombriz parásita *Loa loa*, que se propaga entre los seres humanos por tábanos trasmisores que chupan la sangre durante el día. La trasmisión de la *Loa loa* se ve pues maximizada, dado que la mayor concentración de elementos infectantes en los vasos capilares ocurre en los seres humanos durante el día.

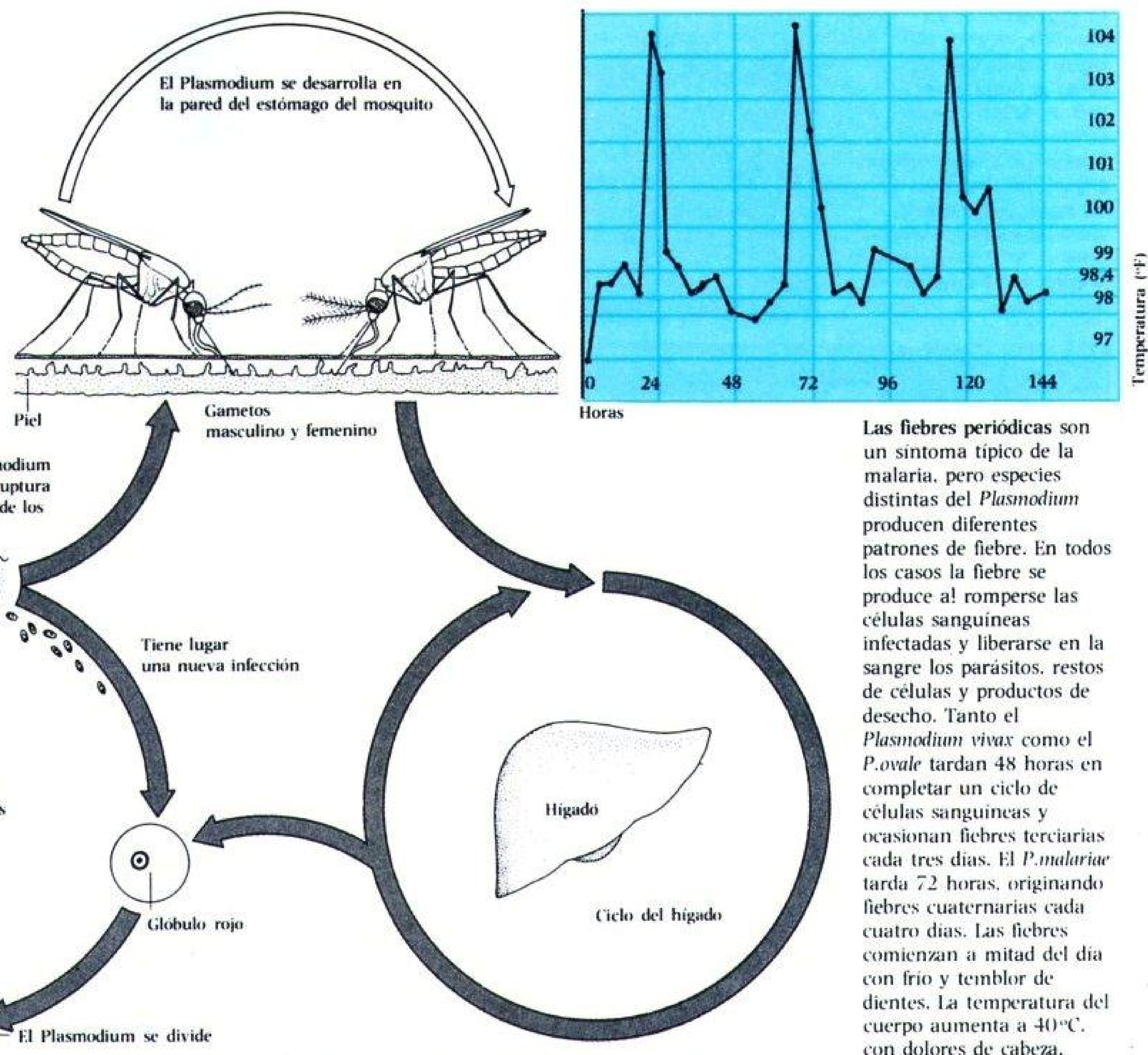
En otros tipos de enfermedades causadas por lombrices, tales como la ceguera de río o filariosis y la elefantiasis, los organismos infecciosos también se desplazan hacia los vasos capilares, encontrándose con la picadura del vector. La situación es bastante distinta en lo referente a la malaria. El protozoo unicelular *Plasmodium*, causante de la malaria, tiene un patrón típico de comportamiento en los seres humanos. Según la especie de *Plasmodium* que ocasione la enfermedad, se presenta una fiebre periódica que aparace cada tres o cuatro días.

Como parte de su ciclo vital, el *Plasmodium* invade los glóbulos rojos, responsables de la trasmisión de oxígeno por todo el cuerpo. Cada vez que el parásito invade un glóbulo rojo se divide en cuatro, dando lugar a 16 nuevos organismos infecciosos o merozoitos. El glóbulo rojo entonces se desintegra, liberando a los merozoitos. Según la especie, los 16 merozoitos tardan 48 ó 72 horas en formarse y la fiebre se produce como consecuencia de los productos de desecho depositados en la sangre tras la desintegración del glóbulo. Algo que resulta interesante es la sincronización de los parásitos, liberando a todos los merozoitos al mismo tiempo, y siendo esta sincronización tan exacta que la liberación tiene lugar en un momento determinado del día, lo que explica la aparición de la fiebre —típica de la infección por el *Plasmodium vivax*— cada 48 horas, y siempre a primeras horas de la tarde.

El período febril no es, sin embargo, el momento en que los mosquitos trasmisores de malaria pican o chupan la sangre, ni los merozoitos les afectan. La sincronización es aún más sutil; algunos merozoitos están destinados a convertirse en células sexuales o gametocitos y concebidos para continuar la infección en el mosquito. Estos gametocitos tardan entre 30 y 36 horas en desarrollarse a partir de los merozoitos. De este modo, el ciclo asexual regular que los produce a primeras horas de la tarde garantiza que los gametocitos se hallarán en el período adecuado de desarrollo unas 30 ó 36 horas después, es decir, durante la noche del día siguiente. Esto encaja perfectamente con los hábitos nocturnos de alimentación de los mosquitos trasmisores.

Este sistema de trasmisión de enfermedades toma las indicaciones de sincronización del huésped. En la mayoría de los animales, incluido el hombre, existen cambios cíclicos cada 24 horas en ciertas actividades fisiológicas; la temperatura, la acidez de la sangre, los niveles hormona-

La necesidad que tiene el mosquito de sangre humana ha causado la malaria a millones de personas. Al picar introduce en la herida elementos asexuales del protozoo *Plasmodium*, presente en sus glándulas salivares, que se dirigen a gran velocidad hacia el hígado, donde se multiplican y viven muchos años, ocasionando brotes de enfermedad. Desde el hígado se introducen periódicamente en la corriente sanguínea invadiendo los glóbulos rojos, donde se desarrollan y multiplican. Cuando maduran rompen la célula, y la ruptura simultánea de muchas de ellas produce la fiebre. La mayor parte de las esporas liberadas invaden otras células, comenzando así de nuevo el ciclo de los glóbulos rojos. Otras se convierten en gametos masculinos y femeninos que sólo se desarrollarán y comenzarán la etapa sexual del ciclo si son absorbidas de la sangre por el mosquito.



Cerebro
Bazo
Riñón
Colon

Algunos síntomas de la malaria son: fallo del riñón, aumento del bazo, desajustes en el colon y, en casos graves, daños en el cerebro.

El mosquito ingiere los gametos masculino y femenino del *Plasmodium*, y cuando éstos entran en el estómago tiene lugar la reproducción sexual parasitaria. Los parásitos resultantes penetran en el revestimiento del estómago, donde crecen y finalmente producen cientos de células que emigran a las glándulas salivares del mosquito.

Una vez que estas células se hallan en la sangre humana pueden transmitirse de la madre al feto a través de la placenta, causando abortos, nacimiento de niños muertos y mortandad infantil. Incluso en casos de bancos de sangre, las células del *Plasmodium* permanecen activas durante varias semanas, de modo que la malaria puede transmitirse mediante transfusiones.

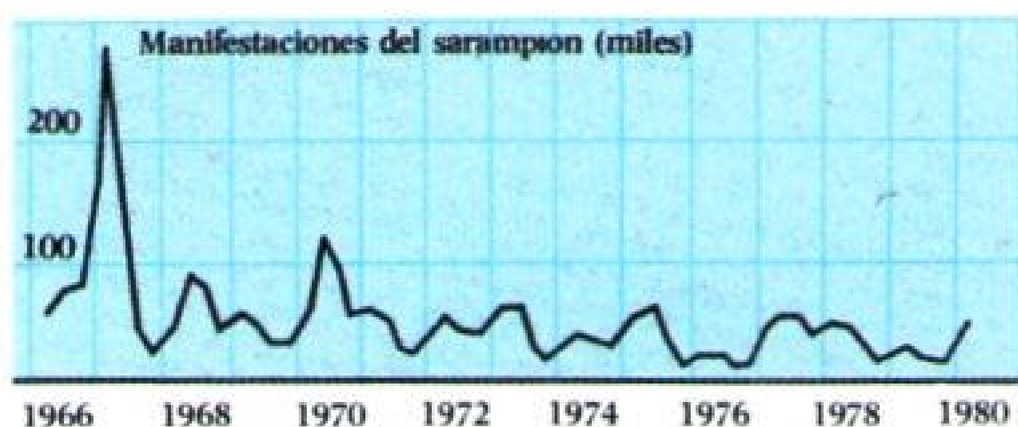
Las fiebres periódicas son un síntoma típico de la malaria, pero especies distintas del *Plasmodium* producen diferentes patrones de fiebre. En todos los casos la fiebre se produce al romperse las células sanguíneas infectadas y liberarse en la sangre los parásitos, restos de células y productos de desecho. Tanto el *Plasmodium vivax* como el *P. ovale* tardan 48 horas en completar un ciclo de células sanguíneas y ocasionan fiebres terciarias cada tres días. El *P. malariae* tarda 72 horas, originando fiebres cuaternarias cada cuatro días. Las fiebres comienzan a mitad del día con frío y temblor de dientes. La temperatura del cuerpo aumenta a 40°C, con dolores de cabeza, vómitos y delirios. Al cabo de 3 horas tiene lugar una copiosa sudoración, la temperatura desciende a lo normal y vuelve la sensación de bienestar.

les, fluctúan regularmente al despertar y al acostarse. Los trabajadores nocturnos con malaria experimentarían de este modo la aparición de la fiebre justo después de medianoche, es decir, a mitad de camino hacia el ciclo de despertar. A partir de ciertos experimentos en animales con malaria se ha descubierto que el organismo del *Plasmodium* utiliza ligeros cambios de temperatura para sincronizar su ciclo vital.

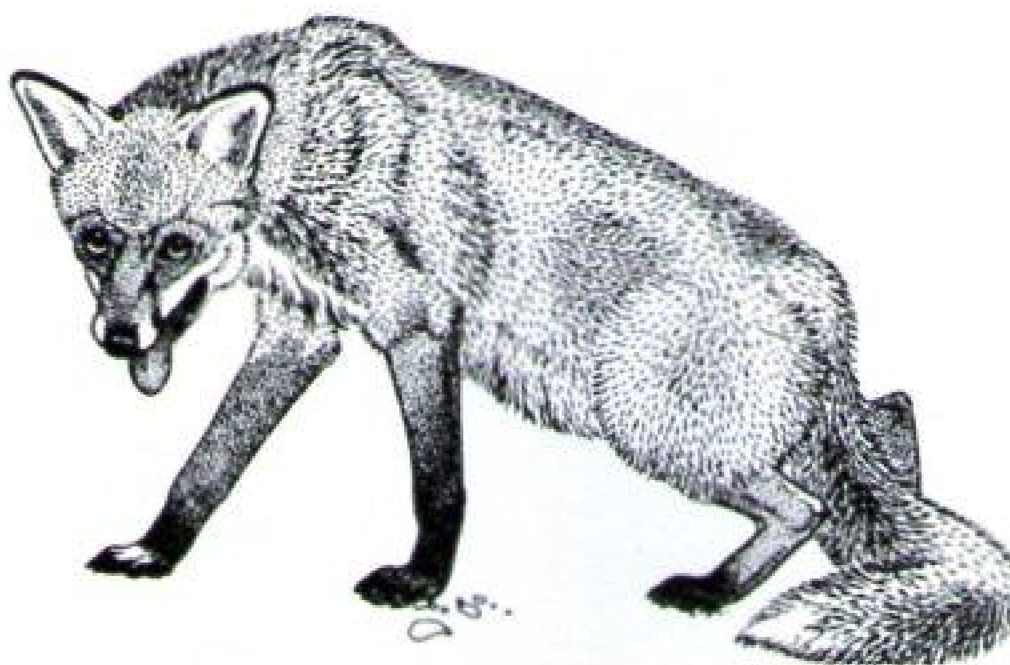
Los ciclos de las enfermedades humanas están a menudo ligados a las estaciones, aunque su periodicidad puede ser de más de un año. El sarampión, por ejemplo, tiene un ciclo de dos años, y la rabia, de cuatro. Parece improbable que sólo el factor clima pueda producir cambios cíclicos tan regulares. Es más posible que los factores dependientes de la densidad, tales como la proporción de individuos vulnerables, ejerzan influencia sobre las poblaciones de organismos de las enfermedades, regulando así sus ciclos. La estación es importante en determinadas enfermedades. En zonas cálidas, el contacto íntimo y directo de los niños durante el invierno y la primavera facilita el contagio del sarampión entre niños especialmente sensibles. También las condiciones de defensa, disminuidas durante el invierno debido a infecciones respiratorias, favorecen el ataque del virus, y el típico ambiente cerrado, húmedo y cargado de las aulas es idóneo para la trasmisión por vía aérea de partículas virulentas. En verano tienen lugar los puntos álgidos en muchas enfermedades propagadas mediante ingestión accidental o por excrementos. El envenenamiento por alimentos infectados por salmonella, el cólera, la hepatitis infecciosa y la poliomielitis pertenecen a este tipo de enfermedades. La existencia de puntos álgidos en verano también es común en enfermedades trasmitidas por picaduras de insectos o garrapatas, cuyas poblaciones aumentan al máximo durante los meses más calurosos del año.

La peste es una enfermedad con alzas tanto en verano como en invierno. Es trasmitida por pulgas cuya actividad aumenta a medida que el tiempo se hace más caluroso. Al final del otoño los pequeños roedores, que retienen la enfermedad, tienden a refugiarse en las casas huyendo del frío del invierno, y esta migración aumenta los riesgos de trasmisión de la infección entre los hombres, propagándose de unos a otros tanto por el aire que se respira en el exterior como en la atmósfera cerrada de las casas.

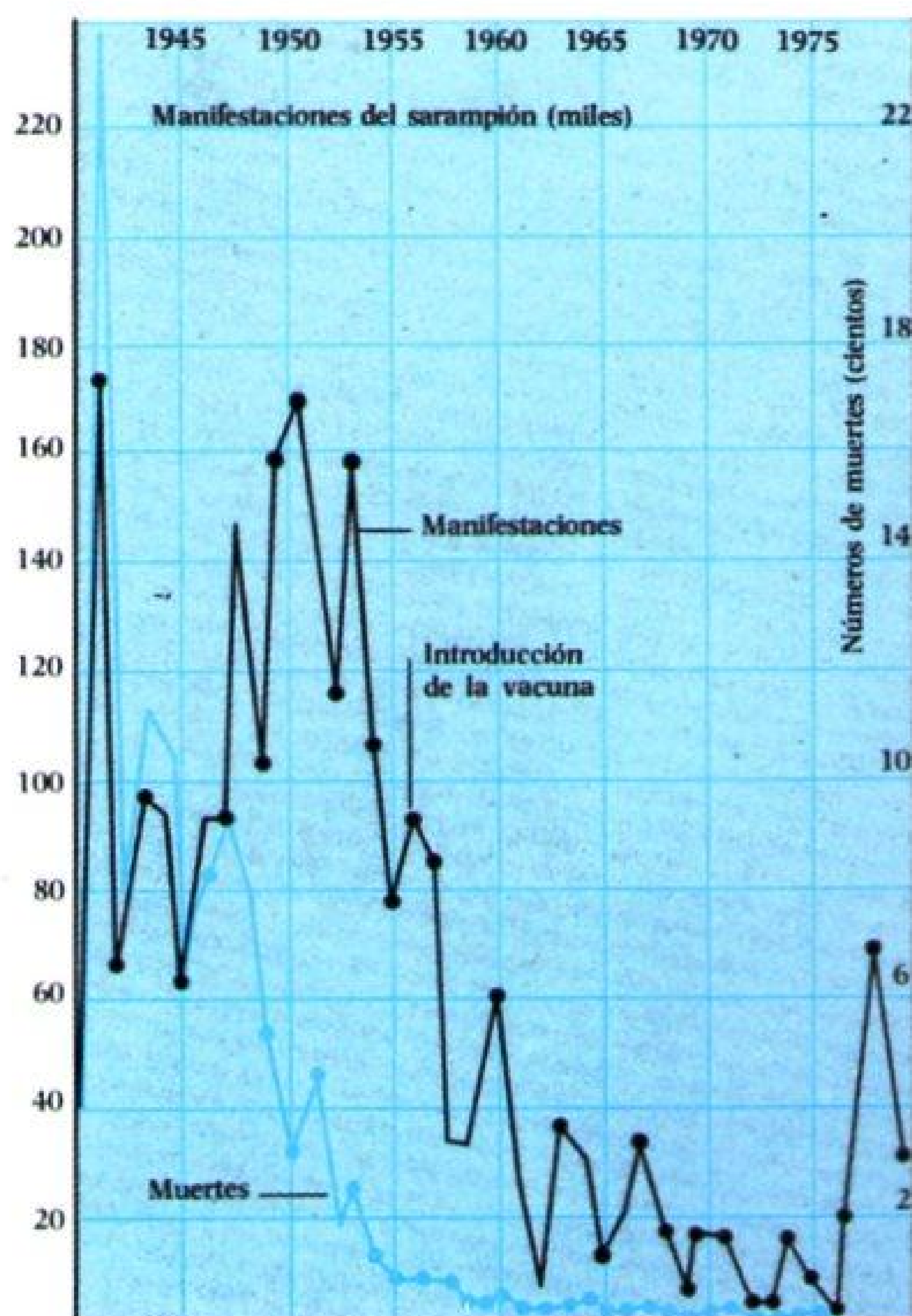
En el zorro, la rabia muestra un ciclo estacional ligado a su ciclo vital. El zorro macho es un animal que defiende con fiereza su territorio frente a los intrusos. Los territorios del zorro quedan establecidos en la época de apareamiento, lo que ocasiona un mayor contacto entre individuos. La extensión de la rabia en la población del zorro experimenta un alza en enero o febrero, justo después del apareamiento. Tanto la rabia como el zorro manifiestan sorprendentes ciclos a largo plazo de tres, cuatro o cinco años. Simulaciones matemáticas han demostrado que éstos pueden ser el resultado de una influencia retardada y dependiente de la densidad de la rabia en el zorro. La rabia reduce la población del zorro a una densidad tan baja que faltan individuos para trasmitir la enfermedad. Este índice de densidad parece alcanzar el mínimo cuando la población desciende hasta un animal por kilómetro cuadrado. Este intervalo queda determinado por el tiempo que tarda la población en aumentar lo suficiente como para que el virus de la rabia pueda instaurarse de nuevo.



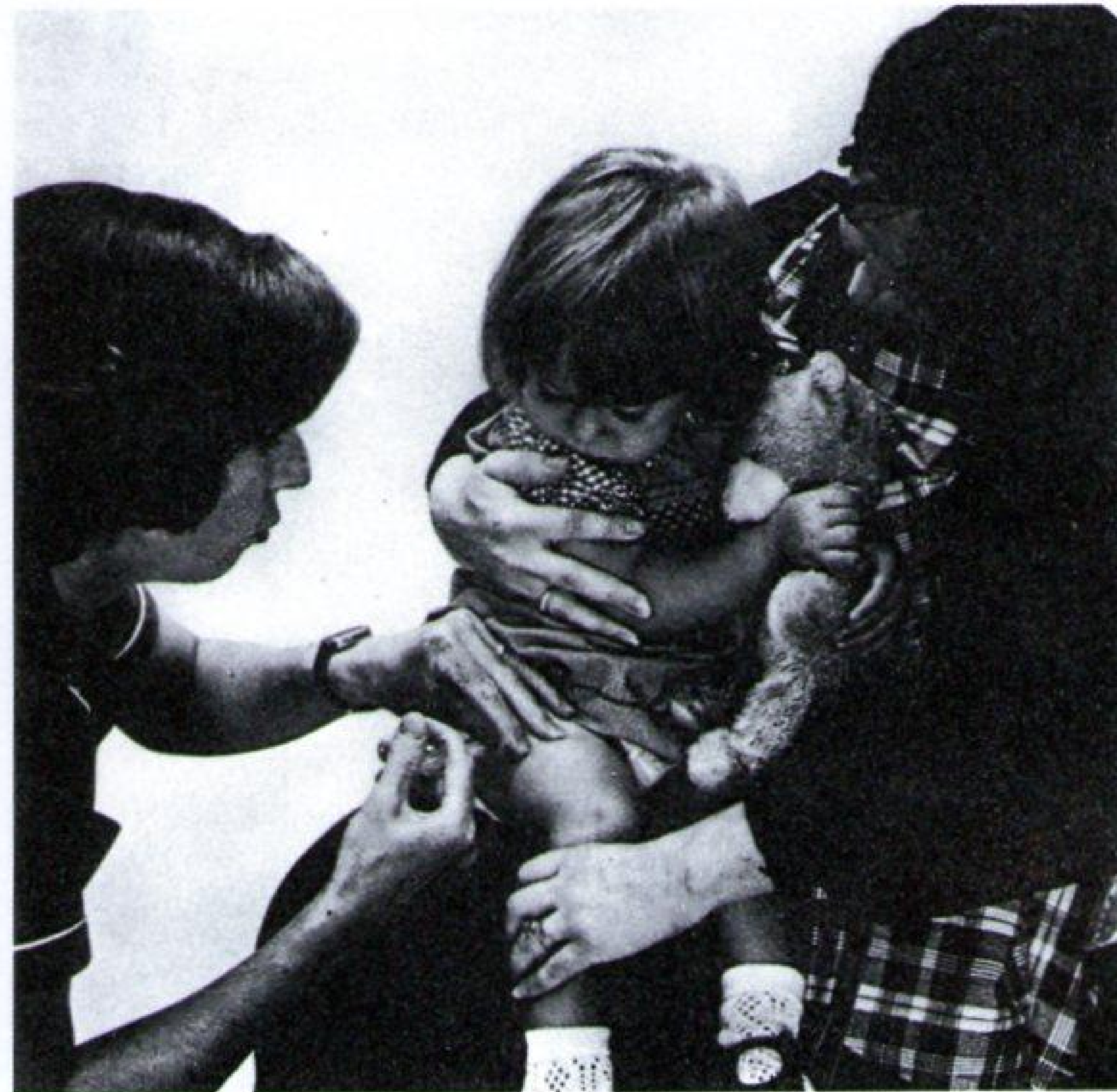
El sarampión manifiesta un ciclo anual en países templados, alcanzando en los casos estudiados el auge en primavera. En Norteamérica la enfermedad tiene una frecuencia anual, pero, sin embargo, en Inglaterra y Gales muestra un ciclo de dos años, *arriba*. Este ciclo bienal se mantiene, aunque la vacunación, desde finales de los 60, ha reducido el número total de casos.



La rabia ataca al sistema nervioso, produciendo exceso de salivación, hidrofobia, parálisis, locura y en último caso la muerte. El zorro rojo es el principal depositario de la rabia en Europa, prevaleciendo dicha enfermedad en un ciclo de tres a cinco años, mientras que en Africa lo es el perro y en Sudámerica el murciélago, aunque muchos animales pueden verse afectados. Las partículas del virus se hallan en la saliva y basta un mordisco del animal para que la enfermedad se propague. La lastimosa escena de un zorro rojo con las patas traseras desarticuladas inspira compasión, pero al acercarse a él puede morder con saña. El cambio de temperamento es uno de los primeros síntomas de la enfermedad, pudiendo convertir a animales dóciles en agresivos, seguido de una fase en la que el animal muerde y echa espuma por la boca.



La frecuencia de tos ferina en los niños en Inglaterra y Gales muestra un ciclo de tres a cuatro años, *izquierda*. Esta alarmante enfermedad es producida por una bacteria que se hace presente en los esputos de niños afectados y se propaga inhalando las gotas trasmitidas en la tos. Antes de 1950 el índice de mortandad era muy elevado, pero al introducirse la vacuna, en 1957, se redujo prácticamente a cero. El número de casos experimentó una notable disminución, aunque el ciclo de la enfermedad se mantuvo. Las recientes dudas sobre la seguridad de la vacuna han conducido a que muchos padres eviten cualquier riesgo de posibles efectos secundarios. Como resultado de esto, la frecuencia de la tos ferina experimentó un repentino aumento a finales de 1977 y en 1978.







Ritmos de crecimiento

Ningún jardinero que haya experimentado, tras la ardua tarea de limpiar su huerto, cómo sus plantas se inundan de semillas de nuevo al cabo de unas semanas, negará los espectaculares índices de crecimiento de que son capaces los seres vivos. Pensemos si no en un bebé que pesa al nacer 3,6 kg. y que sólo nueve meses antes era una pequeña partícula que pesaba unos pocos gramos. El crecimiento humano no se produce jamás con tanta rapidez como durante esos nueve meses en el útero. En otros animales el período de la infancia constituye también un escalonamiento de esfuerzos para lograr el crecimiento. Las crías del elefante marino del sur, por ejemplo, que maman leche elaborada por sus madres a partir de grasa acumulada, aumentan nueve kilos al día. Entre las plantas, las trepadoras son las que crecen más rápidamente, pudiendo una pasionaria aumentar 6 m. de estatura en una sola estación de cultivo.

Para aumentar de tamaño, bien sea de un modo rápido o apenas perceptible como en el caso de los árboles de madera dura, los seres vivos no se inflan como balones ni como los cristales, añaden unidades prefabricadas a las ya existentes. El secreto del crecimiento está en la estructuración de los organismos de plantas y animales, en las células, unidades vitales generalmente menores de 0,1 mm. Cada célula tiene poderes de expansión limitados, ya sea en un organismo de una sola, o —como en el caso de los seres humanos— compuesto de cientos de millones de ellas. Para que exista un auténtico crecimiento, la celula tiene que dividirse en dos, y normalmente se divide de un modo rítmico y cíclico.

Contrariamente a lo que sucede con el avance tecnológico, que aceptamos de inmediato, el avance conceptual en la ciencia tarda años, si no siglos, en ser aceptado. La resistencia a aceptar nuevos conceptos se debe en parte a que las nuevas hipótesis se oponen a las reglas básicas del sentido común. Si, por ejemplo, cortamos un trozo de mantequilla por la mitad, podemos continuar cortándola en trozos más y más pequeños, pero no indefinidamente. El hecho de que la mantequilla esté hecha a base de moléculas de grasa que al dividirse se transforman es un salto conceptual en absoluto deducible por sentido común. La idea de que los seres vivos están formados por células ha sido ampliamente aceptada porque gracias a la ayuda de sofisticados equipos ha sido posible examinarlas detenidamente. Del mismo modo en que la mantequilla sólo mantiene su esencia como mantequilla si las moléculas se mantienen intactas, la vida sólo puede continuar si la integridad de los organismos vitales, las células, es protegida. Las complejas moléculas que configuran estas células no son seres vivientes en sí mismas, pero para completar el proceso de crecimiento la célula tiene que asegurar que todas las moléculas esenciales que contiene, desde su almacén de información hasta su maquinaria para fabricar nuevas moléculas, puedan ser fielmente reproducidas cada vez que se complete el ciclo de división de la celula.

El ciclo de reproducción, que subyace a los procesos de crecimiento, no puede continuarse a menos que —como en cualquier otro proceso vital— tenga un suministro constante de energía. En un análisis final, toda esta proviene del sol, y es utilizada por las plantas para fabricar moléculas ricas en energía, que emplean ellas mismas o los animales herbívoros de un modo indirecto. La cadena de alimentación de todos los organismos del planeta se interrelaciona formando un amplio ciclo de energía en el que las sustancias son constantemente atrapadas y usadas, procesadas y luego expulsadas a la atmósfera, de donde vuelven a ser tomadas y utilizadas de nuevo. Sin este ciclo de conservación no habría manera de que la tierra soportara a largo plazo ninguna forma de vida, sobre todo la de la raza humana, aparentemente decidida a interrumpir el ciclo, malgastando las moléculas portadoras de energía.

RITMOS DE CRECIMIENTO. *Células: multiplicación por división*

El sentido común, el más práctico de los atributos humanos, está condicionado y forzado por la capacidad limitada de los órganos del cuerpo, que nos ayudan a percibir el mundo que nos rodea. Nuestra experiencia más precisa del mundo físico es visual, y esta visión depende de la longitud de las ondas de luz que se nos manifiestan. A diferencia de otros seres, como las abejas, no podemos recibir y procesar la luz hasta el extremo ultravioleta del espectro. También existe un límite en el tamaño de los objetos que podemos ver. Incluso con los mejores microscopios ópticos no podemos apreciar nada que sea menor que las ondas de luz mínimas que utilizan nuestros ojos, aproximadamente 0.0001 mm. La estructura de nuestra retina (revestimiento interior del ojo que recibe señales de luz y las convierte en mensajes nerviosos que serán interpretados por el cerebro) está conformada de tal manera que sólo con gran dificultad podemos ver objetos de menos de 0.1 mm. con la simple ayuda de los ojos.

Debido a estas limitaciones de la vista, consideramos el crecimiento de los seres vivos como un proceso continuo. En períodos largos podemos apreciar que una planta se hace más alta y añade hojas nuevas a las ya existentes o que nuestros hijos aumentan de estatura, y lo que nuestros sentidos nos dicen sobre estos cambios naturales se añade a este gradualismo. La apariencia externa del crecimiento de un brote es de un fluir continuo.

El proceso de crecimiento subyacente es, sin embargo, bastante distinto. En última instancia, cualquier crecimiento continuo consiste en la producción de nuevas subunidades vivientes, es decir, de células. Las nuevas células sólo pueden crearse mediante el proceso de división, durante el cual una célula creadora, tras llevar a cabo una extensa reorganización interna, se divide en dos. La pareja de células que resulta de este proceso de escisión es capaz —tras un período de tiempo que puede variar de media hora a varios días— de repetir el mismo proceso de división. Mediante este proceso esencialmente discontinuo y cíclico, las células se reproducen, se crea nueva materia y tiene lugar el crecimiento. Por tanto, por debajo del nivel decisivo de organización las actividades del crecimiento de los seres vivos no son simples expansiones. Más bien consisten en cantidades ínfimas de crecimiento cuya suma parece ser continua. La situación percibida por el ojo humano es la media del total de miles de millones de divisiones de las células individuales.

Para tratar de acoplarse a todas las circunstancias a las que nuestro lenguaje aplicaría la palabra crecimiento hay que ampliar la explicación detallada de los antecedentes de las células al fenómeno, aunque la mayoría de los ejemplos normales se acoplan al esquema de crecimiento típico de una célula. Tomemos, por ejemplo, el crecimiento de un ser humano. Es fácil concentrarse en los procesos que tienen lugar entre el nacimiento y el período adulto, tales como el crecimiento de los miembros y del tronco, y olvidar que en algunos aspectos el crecimiento más intenso e impresionante —al menos en términos relativos— ocurre antes de que se produzca el mismo hecho del nacimiento. Cualquiera de nosotros fue concebido por la fusión de dos células sexuales simples o gametos, el esperma del padre y el óvulo o huevo de la madre, que formaron una célula generativa e invisible, el zigoto o huevo fecundado a partir de la que creció un hombre o una mujer.



La fuerza motora de casi todo el auténtico crecimiento es la multiplicación de las células, unidades básicas de vida. Este mecanismo puede llegar a ser observado mediante el cultivo de colonias de bacterias en recipientes de agar, una gelatina nutritiva. Las bacterias son dispersadas sobre la superficie, lográndose una suspensión diluida de las células en agua, y vertiéndosela sobre este agar. Los recipientes se incuban y cada célula se divide muchas veces hasta que se consigue formar una colonia claramente visible, *izquierda*, y cuya apariencia específica sirve de ayuda para obtener la identificación de la bacteria que la produce.

Sometidas a coloración para observar sus cromosomas, las células de la raíz de una cebolla se hallan en división, *abajo*. Después que los elementos genéticos se duplican, los cromosomas se desplazan a extremos opuestos de la célula, *izquierda*, antes de formar dos nuevos núcleos, *derecha*.





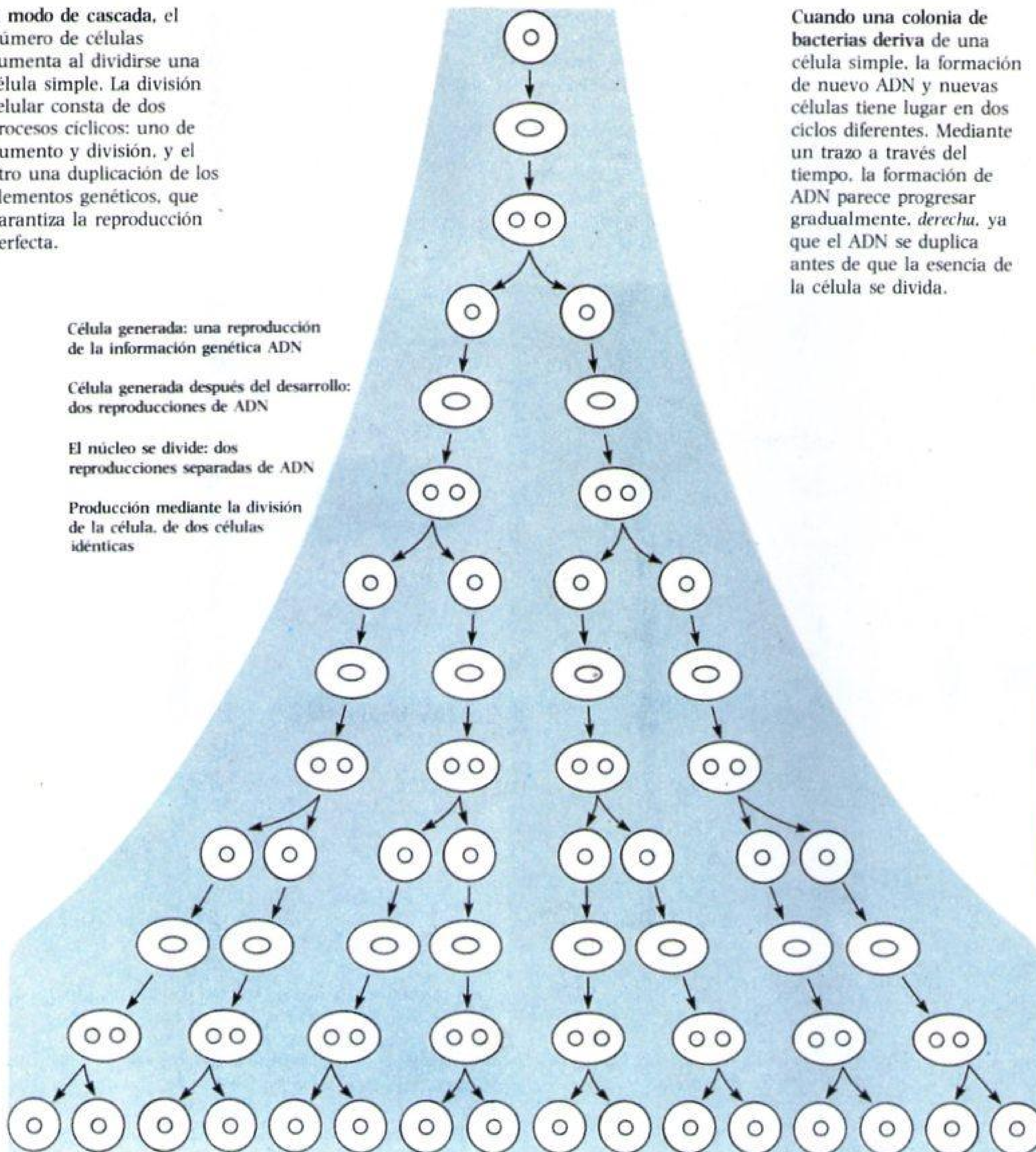
El alcance del proceso de crecimiento es inmenso simplemente porque una célula se convierte en miles de millones de células. Todo este aumento de tamaño es generado por el ciclo de división de la célula. Dentro de dicho ciclo de división tiene lugar, sin embargo, otra forma de crecimiento. Antes de que cada célula creadora se divida tiene que crecer hasta aumentar su tamaño. Si esta expansión no tuviera lugar, la célula se reduciría a la mitad cada vez que se divide. El crecimiento del tamaño de la célula o la expansión intracelular es el resultado de la producción de moléculas orgánicas completamente nuevas, sobre todo proteínas, dentro de la célula, y casi todas las células que se dividen manifiestan este aumento de tamaño.

En el caso de un tipo de célula destinada a llevar a cabo una labor específica en el ciclo vital de una criatura, el crecimiento interno ocurre de un modo exagerado, dando lugar a células que pueden apreciarse a simple vista. Estas células son huevos. Aunque el huevo de un pájaro es una estructura compleja en la que la célula está rodeada de alimentos nutritivos, varias membranas y la cáscara, el óvulo que contiene es una célula realmente gigantesca.

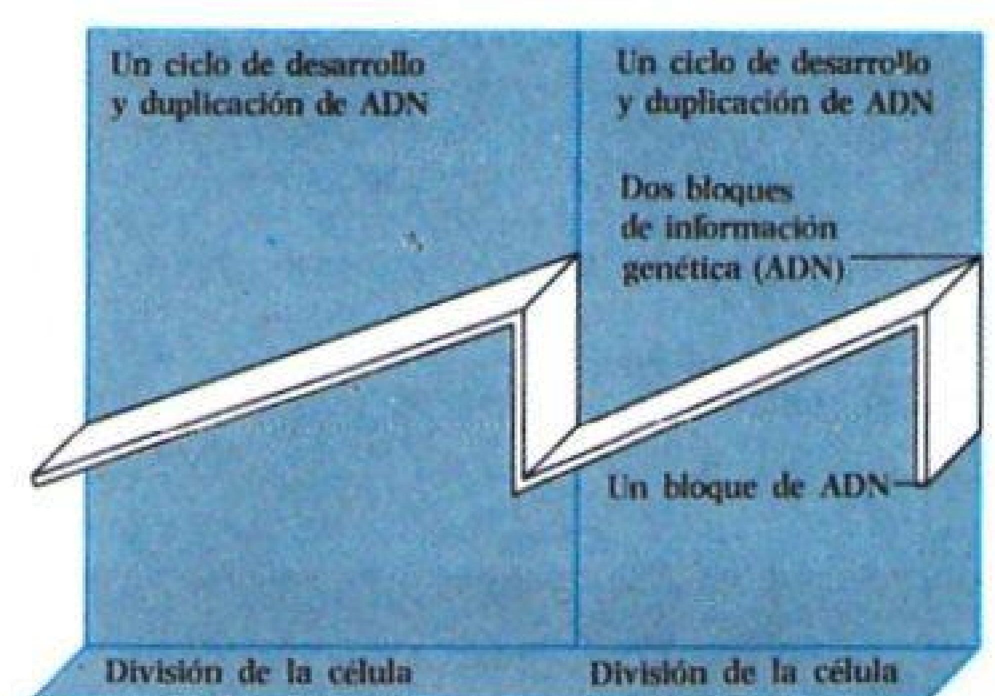
El proceso de crecimiento que da lugar a estas células tremendas está en relación con la producción tanto de reservas nutritivas como la yema, como de moléculas que contienen información, que, juntas, asegurarán que la división rápida de la célula tenga lugar después de que el huevo haya sido fecundado por el esperma. Estas reservas implican que durante el desarrollo temprano del embrión de tales criaturas no existe un aumento significativo de tamaño en la célula. La célula gigante original se divide primero en dos, luego en cuatro y luego en ocho células, y así sucesivamente hasta que queda formado un embrión rudimentario que consiste en cientos de células, pero con las mismas dimensiones que el huevo fecundado original.

En el mundo vegetal, las semillas son, para las plantas en floración, el equivalente de los huevos animales fecundados, y también dichas semillas están provistas de elementos nutritivos que serán utilizados en los primeros períodos de desarrollo. Entre las plantas existen algunos problemas en cuanto a la definición del crecimiento. El primero de estos problemas hace referencia al hecho fascinante de que una gran proporción del árbol es materia muerta. La sección celular viva de un árbol es mucho más pequeña que la masa de material formada por esqueletos celulares. Estos esqueletos son, de hecho, membranas celulares compuestas de la celulosa de carbohidratos de la planta, y es la celulosa, junto con sus parientes químicos, la que configura el esqueleto de un bosque. La celulosa y otros complejos carbohidratos son depositados como materia oculta fuera de las células vivas de la planta. Así, en gran parte el crecimiento de un árbol no consiste en células vivas ni su mantenimiento implica la división celular.

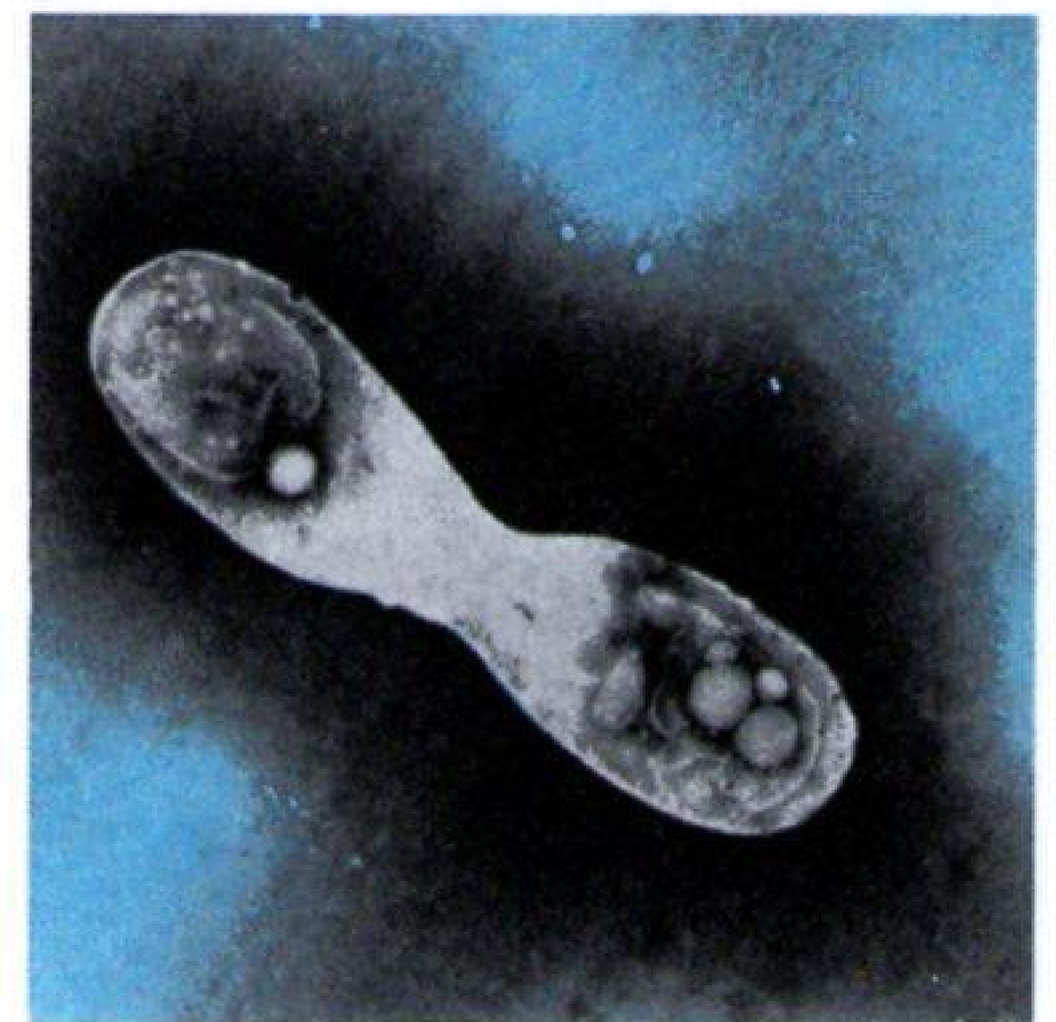
La segunda «particularidad» en el crecimiento del reino vegetal se relaciona con la expansión de las células, que no depende del método estándar de crecimiento intracelular. Cuando las raíces o los brotes se alargan, las nuevas células, producidas para sustentar este crecimiento, experimentan un marcado proceso de expansión, que, aunque aumenta enormemente las dimensiones de la célula, no puede considerarse como crecimiento. Este alargamiento de la célula parece ser el resultado de cambios que bombean un exceso de agua dentro de las células.



A modo de cascada, el número de células aumenta al dividirse una célula simple. La división celular consta de dos procesos cíclicos: uno de aumento y división, y el otro una duplicación de los elementos genéticos, que garantiza la reproducción perfecta.



Cuando una colonia de bacterias deriva de una célula simple, la formación de nuevo ADN y nuevas células tiene lugar en dos ciclos diferentes. Mediante un trazo a través del tiempo, la formación de ADN parece progresar gradualmente, *derecha,* ya que el ADN se duplica antes de que la esencia de la célula se divida.



Bloqueadas en el momento de separarse, dos células idénticas de bacteria a punto de convertirse en organismos independientes, *arriba.* Con sólo 0,001 mm. de ancho, y con el aspecto que muestra el dibujo vistas al microscopio, las bacterias *Legionella pneumophila* producen la grave enfermedad pulmonar denominada enfermedad del legionario. En la mayoría de las bacterias, el ADN se halla ordenado en una larga molécula unida por los extremos, formando un círculo. Como cualquier otro ADN, se reproduce antes de que la célula se divida en dos.

cambios producidos por el fenómeno de ósmosis. A medida que la célula se alarga ocurre una penetración de agua en ella, como resultado de alteraciones en la concentración de sustancias disueltas en el interior.

Pese a estas dos excepciones, el patrón cíclico de la división celular subyace en la mayoría de las actividades del crecimiento biológico. Las células crecen internamente, y luego se dividen en dos. Una célula se convierte ella misma en dos en una forma simple de reproducción. El patrón cíclico y repetido de crecimiento celular, división celular y vuelta al crecimiento celular es a menudo rítmico, así como cíclico, dado que el período del ciclo es razonablemente constante en cuanto a longitud, aunque su valor real varía de un tejido a otro y de una especie a otra. El proceso de escisión es fundamental para el ciclo. Dentro de esta escisión de materia existe un ciclo de cambio que es más importante que el proceso de división en dos partes de la célula. Es un ciclo sin el cual los demás procesos no tendrían lugar, y se trata de la división de la materia que constituye el corazón de la célula: el núcleo.

Dentro de cada una de las células de un organismo vivo hay un almacén de información genética que se trasmite de generación en generación. Este almacén se presenta en forma de ácido desoxirribonucleico (ADN), una impresionante molécula, alojada en el núcleo, que contiene en su estructura atómica códigos para la construcción de las moléculas claves de la vida. Estas moléculas son: más ADN, su correspondiente ARN (ácido ribonucleico) y proteínas, muchas de las cuales, en forma de catalizadores bioquímicos o enzimas, dirigen la vida de la célula. El código de información del ADN, organizado en forma de genes, es totalmente específico para cada organismo. Cada una de las células de un organismo determinado lleva exactamente el mismo código genético. Si esto no fuera así sería imposible que los patrones de la forma del cuerpo y de la conducta de un organismo fuesen trasmitidos y usados por generaciones futuras.

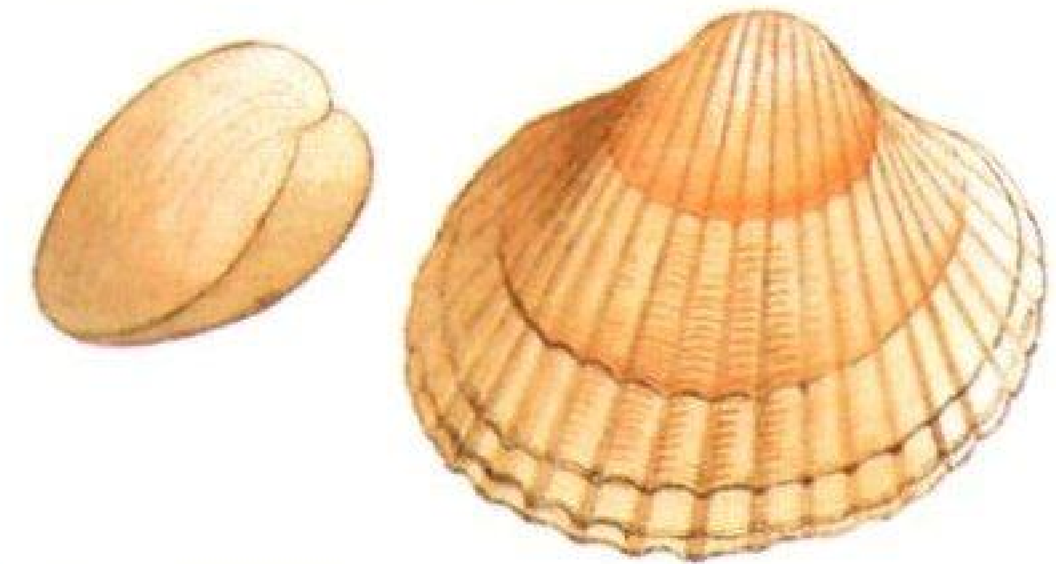
Cuando una célula se divide, las dos células generadas como resultado del proceso tienen que contener una copia exacta del componente vital ADN. Este imperativo bioquímico es respetado en la integrada y compleja serie de cambios que componen el ciclo de la célula. En las células de organismos superiores que contienen núcleos separados en cuyo interior el material hereditario se organiza en estructuras filiformes llamadas cromosomas, el patrón invariable del cambio cíclico obedece a las siguientes reglas. Al instante siguiente de haberse formado mediante división celular, la célula generada contiene una reproducción completa de una secuencia del código genético en el grupo de cromosomas del interior del núcleo. Entre este estadio y la siguiente división de la célula generada pueden observarse tres fases. Primero, existe un período inactivo o etapa G_1 en el que no se produce ADN, y durante el cual se forman las enzimas necesarias para la reproducción del ADN. En otro período también de aparente quietud, la etapa G_2, se detiene la síntesis de ADN, mientras se producen nuevas proteínas que proporcionan la maquinaria necesaria para la división de los dos tipos de cromosomas, por mitosis, división celular mediante la cual se crean dos células idénticas.

En organismos unicelulares simples, como las bacterias, la secuencia de ADN, aunque existe, no se presenta en forma de múltiples cromosomas ni tampoco se halla claramente encerrada en un núcleo. En este

Una tortuga lleva reflejada su edad en el caparazón. La concha está dividida en placas que le dan una apariencia característica, como se ve en la tortuga griega. *Testudo hermanni, abajo.* A medida que la longeva tortuga crece, el caparazón debe agrandarse para dar cabida a su cuerpo. Debido a que las placas del caparazón de la tortuga crecen en diferentes épocas del año, a causa de variaciones de la temperatura ambiente y existencia de alimentos, aparecen en las placas unas bandas anuales, *derecha.*



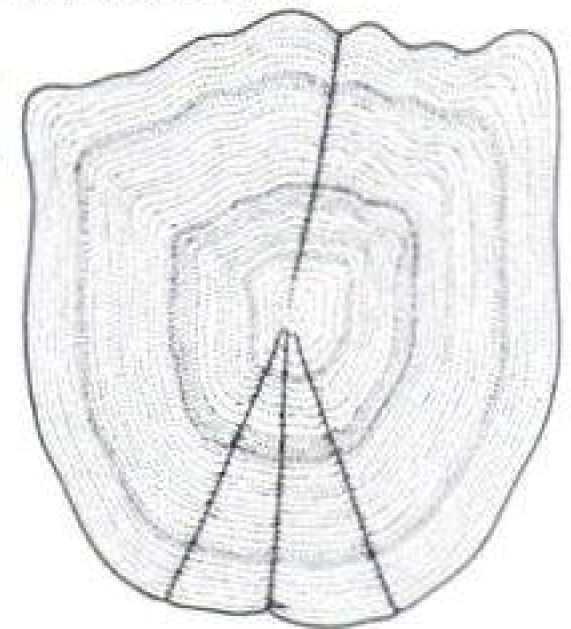
Las variaciones de color y textura diferencian las bandas del caparazón de la tortuga, *izquierda.* Hasta que los anillos se desgastan, al final de su vida, puede calcularse la edad contando las bandas. En el caso de la *T.hermanni*, este método es seguro hasta la edad de 20 años.



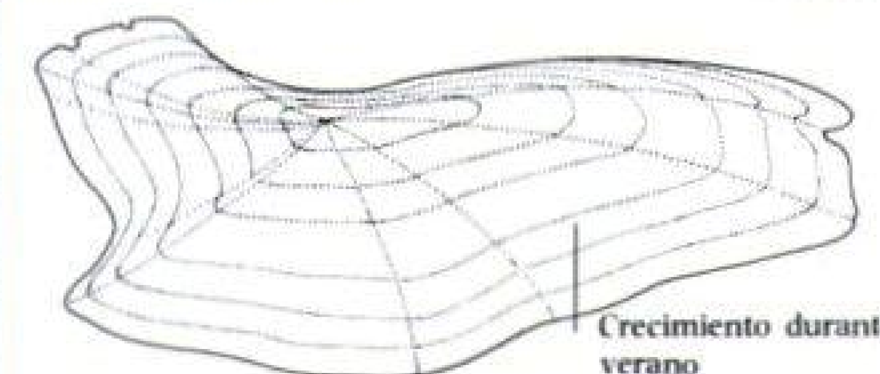


La vida entre mareas deja su huella en la concha de muchos invertebrados marinos, como el berberecho común, *Cerastoderma edule, arriba.* La concha crece durante la vida del berberecho, y tiene un complejo patrón de bandas que reflejan el crecimiento anual, los ciclos de las mareas y los ritmos de la vida del berberecho en un medio ambiente fluctuante.





Las escamas superpuestas de la piel de los peces con esqueleto óseo muestran a veces visibles anillos de crecimiento anual, *derecha.* Estos anillos ayudan a analizar la edad de las reservas de pescado.



Los peces llevan reflejada la edad en el oído, además de en las escamas. El oído contiene el otolito, o piedra auricular, que muestra bandas correspondientes a un patrón de crecimiento rítmico. En especies de aguas cálidas apenas se produce crecimiento durante los meses de invierno, lo que da lugar a variaciones en el índice de deposición de sustancias de calcio, y por tanto también en la aparición de anillos anuales.

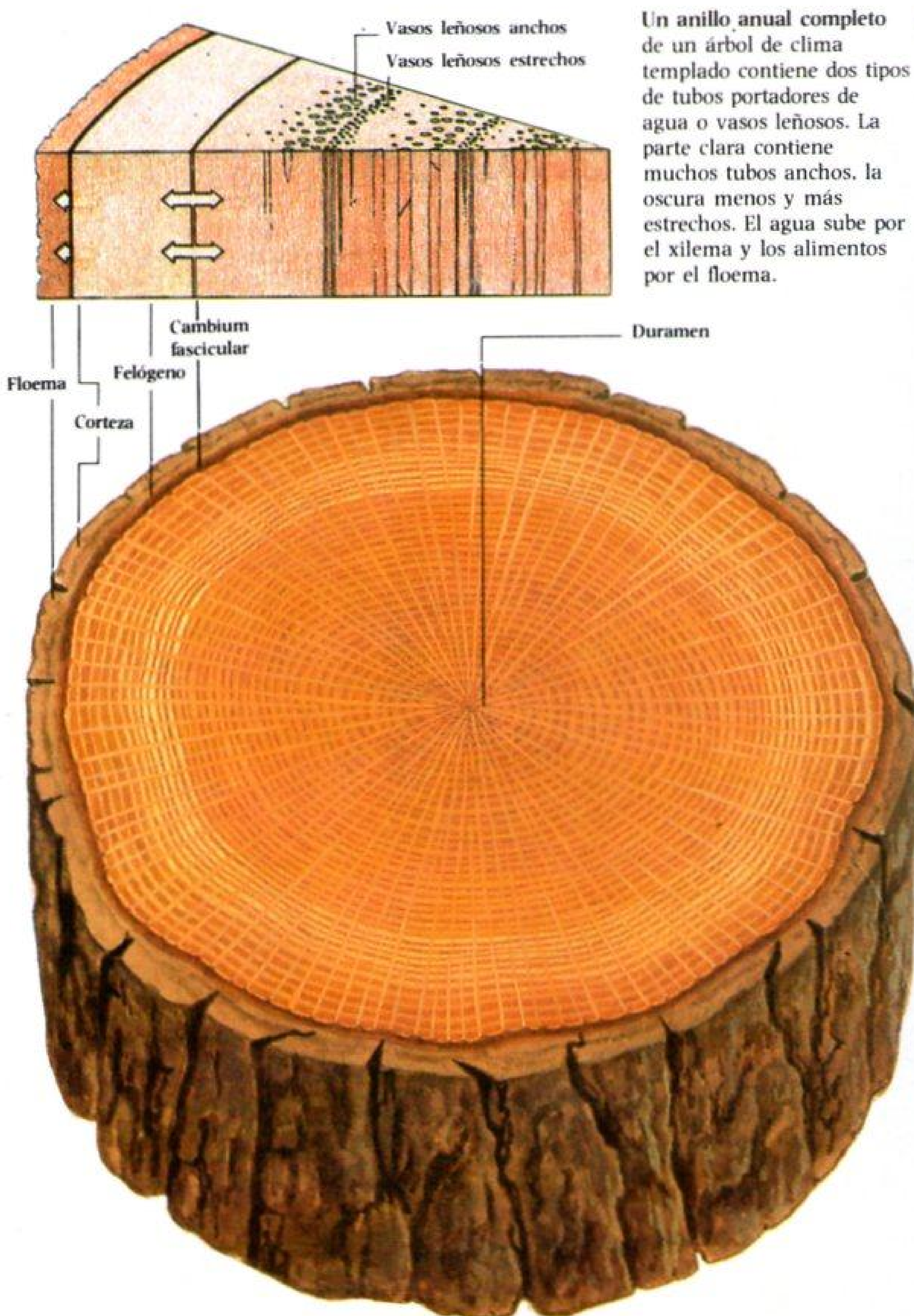
tipo de organismo, todo el tiempo que trascurre entre las divisiones es una fase S. Dado que la síntesis de ADN es continua entre la división de una y otra célula, no existen períodos G de calma. Pero tanto en organismos simples como superiores, el mecanismo del proceso de crecimiento es de importancia capital para la supervivencia. Exceptuando un grupo de observadores privilegiados que, mediante avanzados equipos, hayan podido examinar la duplicación y división de células y cromosomas, nadie percibe directamente los procesos internos de crecimiento. Pese a que éstos se llevan a cabo de forma tan oculta, se trata de actividades esenciales para la comprensión de los ritmos biológicos del crecimiento. Si éstos han de ser controlados, por el propio organismo o por el hombre, habrá que aplicar distintas restricciones al mecanismo de división de la célula desde fuera o desde dentro.

La tarea de observar el crecimiento y distinguir patrones rítmicos de distinta frecuencia puede resultar difícil por la sencilla razón de que muchos organismos crecen muy despacio, y es necesario controlarlos durante largos períodos. Sin embargo, en algunas circunstancias, los animales y plantas presentan su propio historial al observador. Nos referimos a organismos que durante toda su vida o parte de ella depositan, externa o internamente, materias duras, ya sean huesos, escamas, conchas, madera u otras estructuras. El que dichos materiales sean producidos gradualmente o de un modo continuo significa que estas estructuras representan —en su organización física— la evidencia de cambios cíclicos y rítmicos en la forma en que se produjeron.

A nivel del organismo individual, dicho crecimiento cíclico es similar al proceso de largos años de sedimentación de las rocas en el fondo del mar. En el caso de tales rocas, la presencia de distintos materiales y fósiles en estratos sedimentarios sucesivamente depositados proporciona un cuadro de los acontecimientos ambientales y biológicos que tuvieron lugar en aquellos años.

Uno de los ejemplos más conocidos de estas manifestaciones de los patrones de crecimiento son los anillos de los árboles cortados en bosques de climas templados. Cada doble capa de madera primero oscura y luego clara que aparece en círculos concéntricos desde el duramen hasta la corteza es un reflejo osificado y estático del crecimiento anual del árbol. Estas capas estructuradas pueden resultar estéticamente interesantes en los procesos de barnizado de la madera, pero además, y desde un punto de vista científico más práctico, se convierten en una gran ayuda para la determinación de la estructura temporal de un bosque. No es necesario derribar el árbol y destruirlo para contar sus anillos y calcular su edad. Una barrena desde la corteza al corazón produce un cilindro de madera que proporciona la secuencia de anillos.

En el reino animal, tanto en invertebrados como en vertebrados, se aprecian analogías en los seres con estructuras óseas producidas durante largos períodos. El uso práctico de estas manifestaciones es generalmente el cálculo exacto de la edad. Este descubrimiento tiene un inmenso alcance comercial. Sólo considerando detalladamente la estructura temporal de una población explotada comercialmente es posible determinar de antemano la estrategia pesquera que debe seguirse para asegurar el máximo rendimiento. Los anillos del crecimiento de las escamas de los peces proporcionan una información sobre su edad lo suficientemente exacta como para facilitar este tipo de análisis.

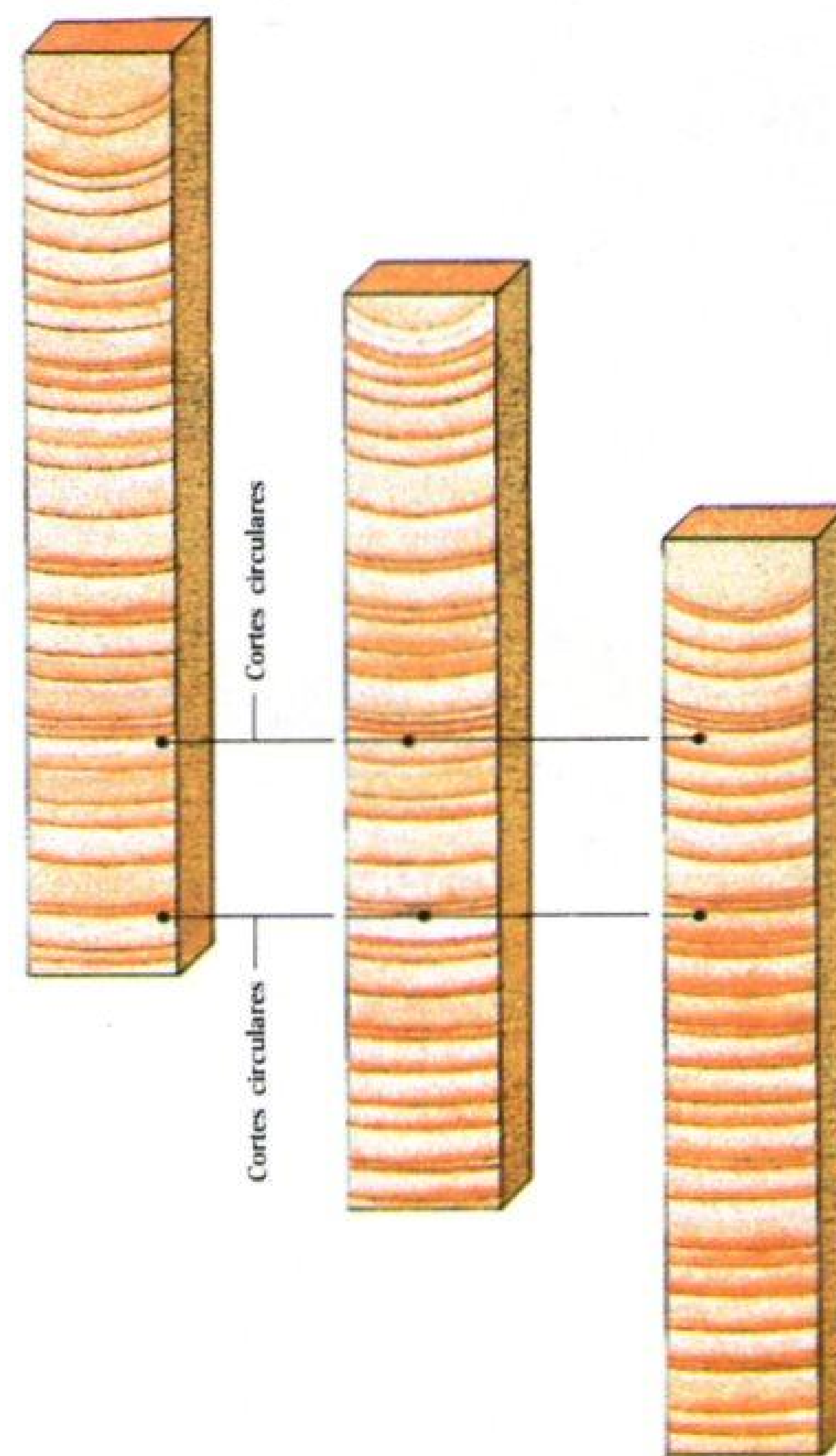


Un anillo anual completo de un árbol de clima templado contiene dos tipos de tubos portadores de agua o vasos leñosos. La parte clara contiene muchos tubos anchos, la oscura menos y más estrechos. El agua sube por el xilema y los alimentos por el floema.



El hermoso, complejo e intrincado patrón de la madera del tronco de un árbol, *izquierda*, refleja su composición celular. La mayor parte de la madera la constituyen los vasos leñosos. Los del centro del tronco, o duramen, pueden estar muertos u obstruidos debido a la deposición de sustancias en su interior. Los vasos leñosos se forman mediante la división de las células en el cambium fascicular, lámina celular cilíndrica que se halla alrededor del tronco. La superficie externa de esta capa separa los vasos cribosos que transportan glucosa y otros elementos nutritivos desde las hojas hasta otras partes del árbol. Por fuera existe otra capa viva, el felógeno, cuyas células se dividen formando la corteza protectora.

El análisis de los anillos de crecimiento, tanto en árboles muertos como vivos, proporciona mucha información sobre las condiciones climáticas en el pasado. Los anillos son un reflejo del clima, ya que, por ejemplo, cuando el agua abunda se producen más vasos leñosos. En una zona apartada las condiciones producirán considerables variaciones específicas en los anillos. Los árboles longevos, tales como el pino del Colorado, en California, *izquierda*, han sobrevivido durante más de 4.600 años, haciendo posible una cronología superpuesta de patrones de los anillos, *abajo*.

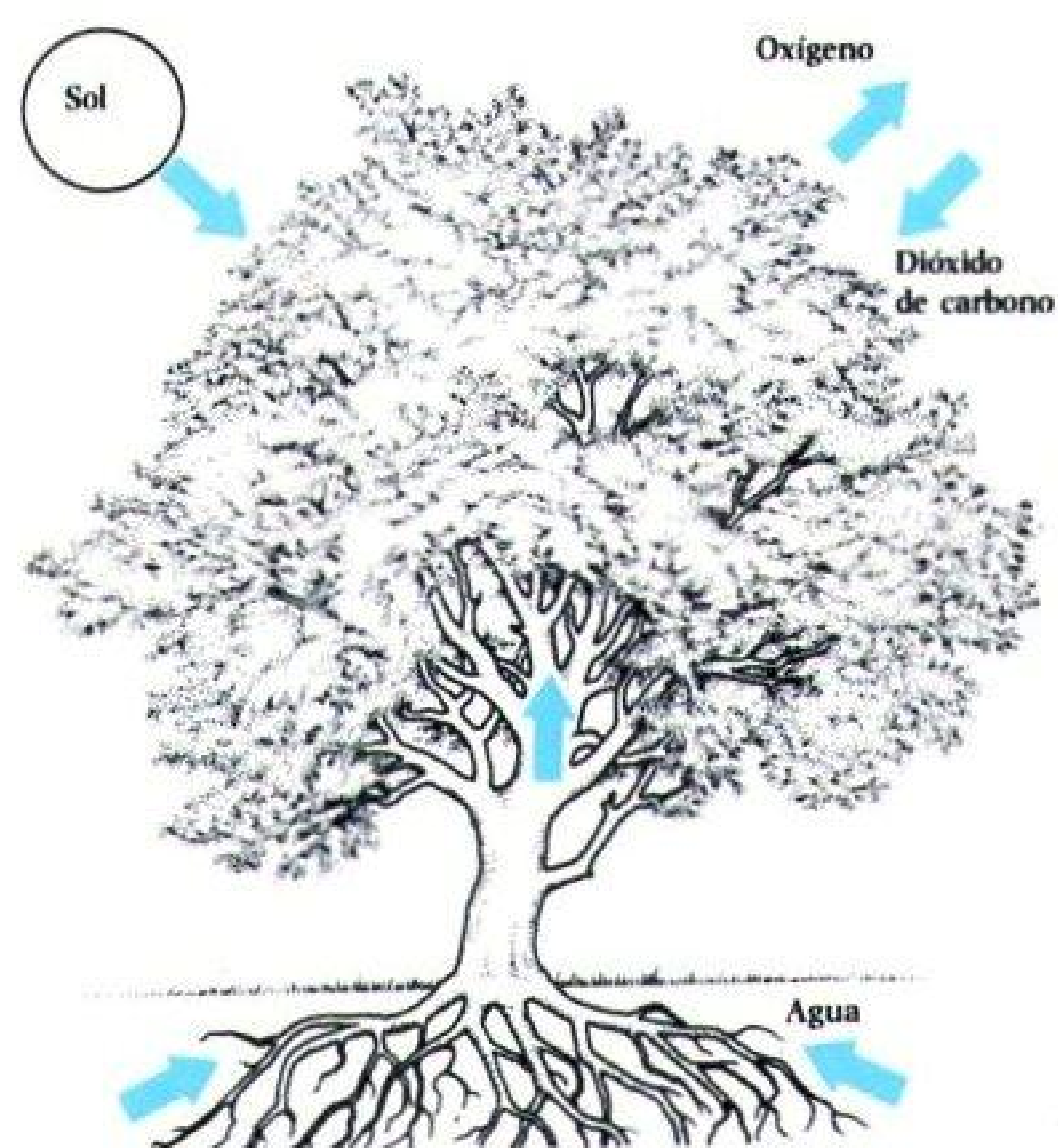


El trabajo de los biólogos en cuanto al estudio del crecimiento está directamente ligado con el de los químicos orgánicos. Los productos químicos cuyos elementos componen la vida son las moléculas orgánicas o carbónicas, las cuales presentan una sorprendente variedad de formas. Más aún, las moléculas tienen una capacidad de expansión en cualquier dimensión que hace que su diversidad sea de hecho infinita. Las moléculas orgánicas se encuentran en la atmósfera y en la estructura de los planetas exteriores del sistema solar y mediante el uso de la espectrofotometría han sido incluso identificadas en el espacio interestelar. Sin embargo, hasta la fecha el planeta Tierra es el único punto del universo en el que se ha descubierto esta gran cantidad de moléculas carbónicas asociadas a la vida. Entre esta infinita variedad química destaca una molécula como la más común en la Tierra: la celulosa, componente de la membrana celular de las plantas y por lo tanto del papel y de la madera. No hay duda de que esta sustancia, la más común de todas, se encuentra en cantidades mucho mayores que cualquier otra sustancia orgánica, dando como resultado la existencia de miles de millones de toneladas en todo el mundo.

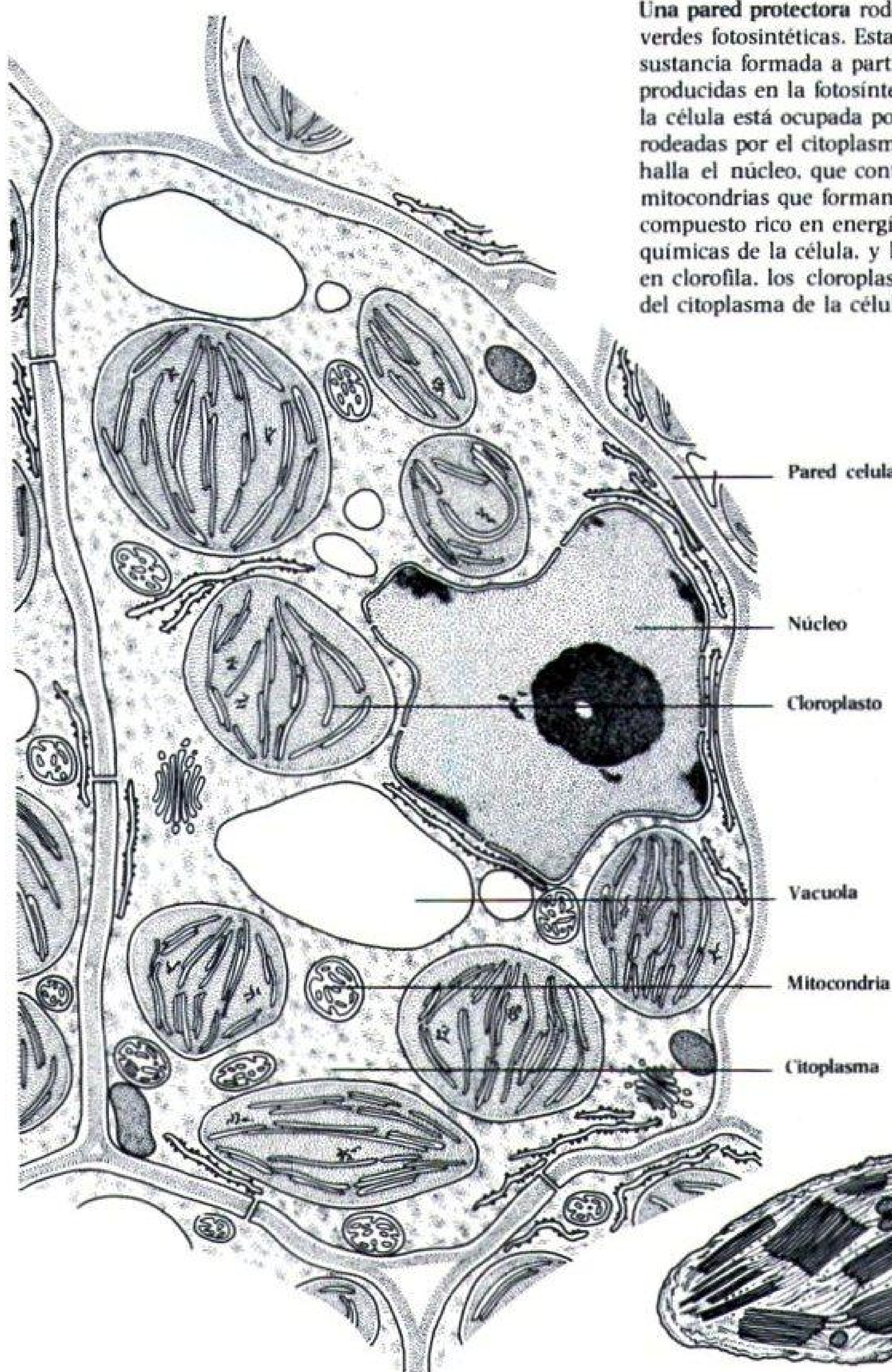
La celulosa y, en último término, todos los demás componentes orgánicos que se encuentran en los ecosistemas terrestres, son producidos por las plantas, en una cadena de reacciones químicas que forman el proceso de la fotosíntesis. Los animales son esencialmente parásitos del reino vegetal cuando se trata de obtener su suministro de moléculas orgánicas, ya que —a diferencia de las plantas— no pueden construirse a sí mismos ni sustituir partes deficientes a partir de una serie de reactivos no orgánicos. El milagro químico de las plantas es la alquimia de la energía solar. Dicha energía es la fuente que dirige el mecanismo de la fotosíntesis, mediante el cual el dióxido de carbono simple CO_2 formado por un átomo de carbono y dos de oxígeno se convierte en moléculas muchísimo más complejas, como las glucosas. El aumento de complejidad sólo puede ser pagado con una moneda energética, cuyo último banquero es el Sol y que proporciona un dividendo extra, ya que se libera oxígeno en la atmósfera como subproducto de la fotosíntesis.

No todas las partes de la planta pueden realizar la fotosíntesis. Sólo aquellas células que reciben grandes cantidades de luz solar están en condiciones de llevar a cabo este proceso. Debido a esta restricción, las raíces, muchos tallos leñosos y los tejidos centrales de los árboles, no están capacitados para ello y dependen por tanto de las partes fotosintéticas que les proporcionan las moléculas necesarias para su desarrollo. Las plantas superiorés poseen un sistema de transporte a base de células largas en forma de tubo, que a la vez comprenden el líber, mediante el cual se efectúa este desplazamiento de componentes nutritivos.

Las células capaces de realizar la fotosíntesis poseen un distintivo inconfundible: son verdes. Este color, marca indeleble del mundo vegetal, está formado por el pigmento de la clorofila, molécula que ha transformado la Tierra, de un planeta seco, en el que sólo se podía dar la fermentación de levadura debido a la ausencia de oxígeno, en el globo rico en oxígeno que hoy conocemos. Es la primera de toda una cadena ordenada de moléculas en el interior de las células de las plantas verdes que convierten un fotón —carga de energía de luz— en un electrón energético, y luego retienen parte de la energía de dichos electrones para dirigir las reacciones químicas vitales.

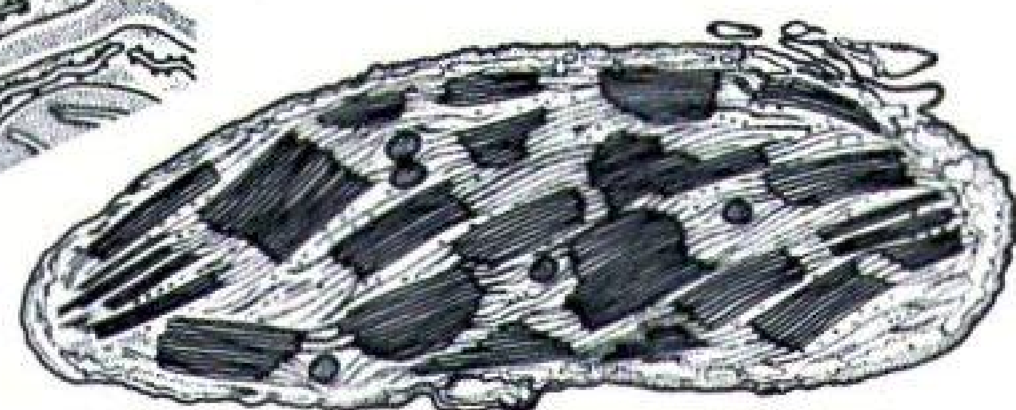


Las plantas verdes son los eslabones vivos entre la Tierra y el Sol. La razón estriba en que las plantas llevan a cabo el proceso de la fotosíntesis, en el que se forman moléculas orgánicas mediante la intervención de la energía solar. La complejidad química de la fotosíntesis puede reducirse a una simple ecuación de cambio: bajo la influencia de una fuente de energía lumínica, el dióxido de carbono se combina con moléculas de hidrógeno para formar moléculas orgánicas, tales como azúcares, que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, además de agua y los restos de la molécula de hidrógeno. En las plantas verdes normales el proveedor de hidrógeno es el agua (H_2O), y, por tanto, al tomar hidrógeno se desprende oxígeno. Otro factor esencial, además de la luz, es un pigmento verde llamado clorofila, que da su color a la mayoría de las hojas. La excepción a estas reglas son algunas bacterias fotosintéticas que utilizan anhídrido sulfuroso (SH_2) como fuente de hidrógeno, desprendiendo azufre. Se conocen muchos datos sobre los cambios químicos y electrónicos de la fotosíntesis. No todas las reacciones necesitan luz, pero la reacción inicial implica la interacción de un quantum de energía radiante del Sol con la clorofila.



Una pared protectora rodea las células de las plantas verdes fotosintéticas. Esta pared está hecha de celulosa, sustancia formada a partir de las moléculas de azúcar producidas en la fotosíntesis. Gran parte del interior de la célula está ocupada por vacuolas llenas de líquido y rodeadas por el citoplasma. Dentro del citoplasma se halla el núcleo, que contiene el material hereditario: las mitocondrias que forman el adenosintrifosfato (ATP), compuesto rico en energía que favorece las actividades químicas de la célula, y las importantes estructuras ricas en clorofila, los cloroplastos, que se mueven alrededor del citoplasma de la célula.

Los cloroplastos de las células de las plantas verdes están formados por claras agrupaciones de membranas, parte de las cuales contienen moléculas de clorofila, *abajo*. Cada cloroplasto está protegido por otra membrana. Durante la fotosíntesis, un quantum de luz, que contiene la cantidad exacta de energía, estimula las moléculas de clorofila e inicia una cadena de reacciones que concluyen en la síntesis del azúcar.



Las células verdes de las plantas, como las que abundan en las hojas, presentan un rompecabezas chino de refugios soleados. Las hojas están orientadas de modo tal que ellas mismas pueden interceptar los rayos del Sol de manera efectiva. Dentro de las hojas, las células verdes que contienen clorofila están distribuidas de tal forma que facilitan a las células la interceptación de la luz. En el interior de cada célula, la clorofila y otros productos químicos de la fotosíntesis están almacenados en grupos, y varios grupos forman un cloroplasto. Las capas monomoleculares de clorofila unidas a membranas en los cloroplastos constituyen el objetivo elemental para los fotones de luz que salieron del astro, viajando a 297.600 km./seg. unos 8 minutos antes.

Los mecanismos e implicaciones de la fotosíntesis son cíclicos en dos aspectos vitales de su organización. En primer lugar, la complejidad química de la síntesis del carbono implica un ciclo conservador de autoabastecimiento en la utilización de moléculas. Algunas de las sustancias clave de la reacción no son consumidas en el proceso de la química fotosintética, sino que se transforman cíclicamente unas en otras. En sengundo lugar, si se pasa de una escala química a otra global, más grandiosa, la fotosíntesis se halla en el centro de un ciclo de utilización del carbono que abarca a todo el planeta, y que ha sido denominado el ciclo del carbono.

El ciclo del carbono del planeta Tierra abarca dos estados del carbono atómico: compuestos orgánicos que contienen carbono, y moléculas inorgánicas que también lo contienen, incluido el dióxido de carbono. En nuestro planeta, los átomos de carbono van y vienen entre estos dos estados. El dióxido de carbono es sintetizado mediante el proceso de fotosíntesis y transformado en compuestos orgánicos, que finalmente se descomponen durante el proceso de respiración —tanto en las plantas como en los animales que las comen— que convierte de nuevo el carbono de las moléculas respiradas en dióxido de carbono. Otras formas de dicho elemento, tales como estratos rocosos de carbono y combustibles fosilizados, todavía intactos en la tierra, son en su mayor parte inutilizablés en procesos vitales a corto plazo. A otro nivel, ciertas reservas no orgánicas de carbono se hallan separadas entre sí en los sistemas terrestre y acuático. En el aire, el dióxido de carbono se encuentra en forma de gas, mientras que en el mar, ríos o lagos, está presente como dióxido de carbono disuelto, carbonatos o bicarbonatos.

Las cifras de carbono sometido al ciclo vital son asombrosas. También lo es la proporción de carbono disponible para ser procesado cada año. Las plantas verdes sintetizan aproximadamente cien mil billones de gramos al año, un tercio de los cuales es devuelto a la atmósfera y a las aguas en forma de dióxido de carbono producido por la respiración de las plantas. Los dos tercios restantes son devueltos a las reservas de dióxido de carbono en forma de gas o en su estado disuelto, como resultado de la respiración de bacterias, hongos y animales —incluidos los hombres— que se alimentan de comida vegetal o de herbívoros, que a su vez reciben energía de la materia orgánica procesada por las plantas. Sin tener en cuenta los mares y el agua dulce, es probable que las comunidades terrestres o plantas, animales y microorganismos procesen también un 12 por 100 del total de dióxido de carbono de la atmósfera. Según esta proporción, cada molécula de dióxido de carbono participa en el ciclo vital una vez cada 8 años.

Todas las moléculas fundamentales que constituyen los organismos de la Tierra están formadas a partir del carbono. Unidos en enormes configuraciones lineales, ramificadas o circulares, estos átomos de carbono sirven de espina dorsal para el enlace de otros átomos. El papel fundamental del carbono consiste en que las líneas de flujo por las que sus átomos circulan entre los componentes vivos e inanimados de nuestro mundo son de importancia vital. El compuesto inerte esencial del carbono es el gas dióxido de carbono de la atmósfera y el dióxido de carbono disuelto en los océanos. Juntos forman una reserva de donde los seres vivos toman el carbono. Estas reservas accesibles de dióxido de carbono (CO_2) son atrapadas por las plantas terrestres y acuáticas y transformadas en moléculas de azúcar por medio de la fontosíntesis. El dióxido de carbono es reemplazado a medida que las plantas respiran. Los animales herbívoros comen plantas y los carnívoros comen a otros animales, trasmitiéndose así el carbono a lo largo de la cadena. En la respiración de herbívoros y carnívoros se produce dióxido de carbono, como también en la descomposición mediante microorganismos de animales muertos o de sus excrementos.

